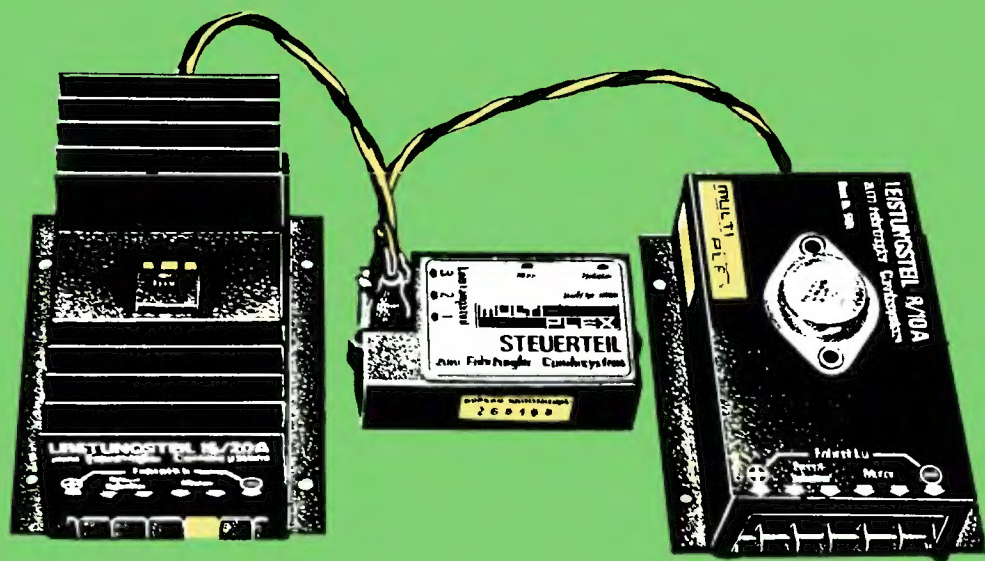


VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Г.МИЛЬ

Электрические приводы для моделей



Г.МИЛЬ

Электрические приводы для моделей

Перевод с немецкого В. Н. Пальянова

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ СССР
1986

ББК 75.725
М60

Рецензент В. Е. Мерзлякин

Миль Г.
М60 Электрические приводы для моделей / Пер. с нем.
В. Н. Пальянова.— М.: ДОСААФ. 1986.—221 с., ил.
70 к.

Объясняются расчет, устройство и установка электрических приводов на авиа-, судо- и автомоделях, а также расчет двигателей для моделей. Описываются конструкции механизмов для передачи усилий в электроприводах. Даются рекомендации по выбору электродвигателей и источников питания.
Для моделистов.

М 4202000000—027 46—85
072(02)—86

ББК 75.725
6Ф2.9

© Dr. Günter Miel, Elektroantrieb von Modellen, Transpress
VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin, 1981

© Перевод на русский язык
Издательство ДОСААФ СССР, 1986.

Разработка электрических приводов для моделей является интересной технической задачей. Наряду с двигателями внутреннего сгорания, электрические двигатели позволяют обеспечить работу радиоуправляемых моделей автомобилей, судов и летательных аппаратов в течение длительного времени. Такие преимущества электроприводов, как простота запуска модели, отсутствие загрязнений, низкий уровень шума, а также возможность плавного изменения частоты вращения объясняют их широкое применение в авто- и судомоделизме. Благодаря появлению мощных электродвигателей и быстрозаряжающихся аккумуляторов, выдерживающих большую нагрузку, полеты авиамоделей с электродвигателями практически уже вышли из стадии экспериментирования: в настоящее время некоторые национальные федерации включили в свои правила соревнований класс авиамоделей с электроприводом. КПД электропривода улучшен настолько, что существуют радиоуправляемые авиамодели, рассчитанные на полет в течение нескольких часов, электроэнергию для двигателей которых вырабатывают солнечные элементы.

Разнообразны типы и формы моделей, функционирование которых обеспечивается с помощью электрических приводов. На первый взгляд не менее разнообразными кажутся и технические проблемы, связанные с расчетом и конструированием таких приводов. Однако самые различные приводы для моделей, будь то модели автомобилей, летательных аппаратов, кораблей или судов, имеют много общего. Для этой книги отобраны примеры, помогающие выявить общие физические и технические закономерности, которым подчиняется работа электроприводов для любого типа моделей. При этом основное внимание обращено на решение задач, связанных с расчетом и конструированием элементов приводов, предназначенных для выполнения моделью ее функций. Очень кратко рассмотрены вопросы расчета электрических цепей и электронных схем. Подробнее описаны расчет и конструкции гребного и воздушного винтов, устройств передачи усилий, даны рекомендации по выбору электродвигателя и источника питания для него, а также аппаратуры дистанционного управления приводами.

Свою первую модель начинающий моделист в большинстве случаев строит по чертежу или из деталей, продающихся в

виде посылочного набора. Однако уже при изучении чертежа он должен не только обращать внимание на особенности изготовления отдельных деталей, но и всегда задавать себе вопрос: почему эти детали должны быть выполнены именно так, а не иначе? Правильное понимание функций, выполняемых деталью, избавит моделиста от неприятных неожиданностей при запусках модели и может явиться стимулом к разработке собственных конструкций.

Книга предназначена в первую очередь для начинающих моделистов. Однако она может оказаться полезной и опытным спортсменам.

Автор благодарит всех моделистов-спортсменов и работников фирм, оказавших ему помощь при подготовке рукописи.

*Д-р Гюнтер Миль
Эрфурт, 1984 г.*

Задачей привода, установленного на модели, является преобразование энергии. Следовательно, конструирование привода должно быть направлено на то, чтобы обеспечить модель достаточным количеством аккумулированной энергии и максимально эффективно преобразовывать ее в мощность движителя.

В качестве аккумуляторов энергии на моделях могут быть использованы: резина, сжимаемый газ (механическая энергия), твердое или жидкое топливо (химическая энергия), гальванические элементы (электрохимическая энергия).

Самыми экономичными аккумуляторами энергии являются твердые и жидкие топлива, однако вследствие низкого КПД двигателей внутреннего сгорания и ракетных двигателей, составляющего 2—20 %, это их преимущество используется очень слабо. Иное дело — электродвигатели. Даже малогабаритные электродвигатели (мощностью до 100 Вт) имеют КПД от 50 до 65 %. Кроме того, их преимуществом является простота управления процессом преобразования энергии с помощью электронных схем.

Возможность плавного дистанционного изменения частоты вращения в обоих направлениях от нуля до максимально возможной — важное достоинство электрических приводов. Технические усовершенствования в области очень энергоемких вторичных источников электропитания привели к разработке элементов, разряд которых может быть произведен за очень короткое время (от нескольких секунд до нескольких минут). Такие источники открывают путь к созданию приводов, достаточно мощных для моделей автомобилей, кораблей, судов и даже летательных аппаратов.

Однако сначала следует бросить взгляд на историю развития электроприводов. Первый катер с приводом от электродвигателя, построенный русским физиком Якоби, прошел по Неве с 14 пассажирами в 1838 г. Самыми известными к настоящему времени электромобилями, управляемыми на расстоянии, являются Луноход-1 и Луноход-2 (рис. 1). Луноход-1 17 ноября 1970 г. был доставлен на Луну и по командам с Земли прошел

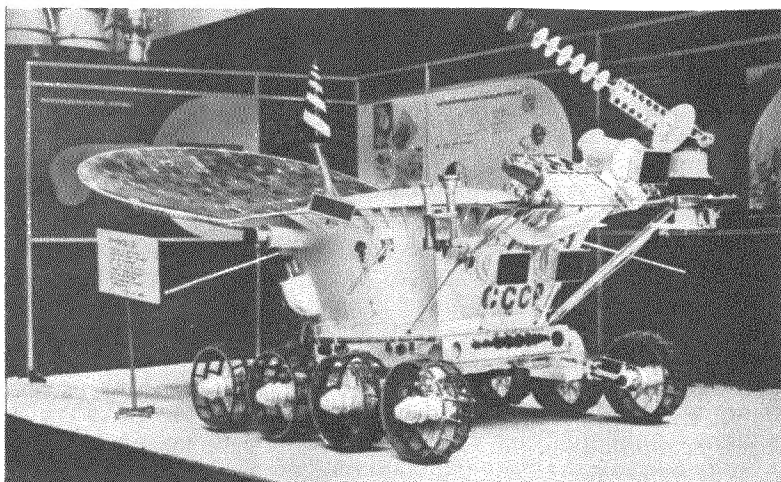


Рис. 1. Луноход-2

по лунной поверхности около 10,5 км. Луноход-2 мягко прилунился 16 января 1973 г. и за 75 земных суток проделал путь, равный примерно 37 км.

Первую модель самолета с электрическим приводом построил Ф. Милитки (США). Его первоначальные опыты в этом направлении относятся еще к 1940 г. В 1959 г. созданная им свободнолетающая модель впервые поднялась в воздух, а в 1971 г. взлетела первая управляемая по радио летающая модель *Silencer* с электрическим двигателем. Толчком к более широкой постройке таких моделей явился успех в разработке мощных малогабаритных электродвигателей. Дополнительным импульсом для Милитки стало также появление пилотируемого самолета с электродвигателем. В октябре 1973 г. этот самолет — *MB-E1* (рис. 2 и 3) — продержался в воздухе 9 мин. В августе 1976 г. стартовала первая радиоуправляемая авиамодель Милитки, в которой для привода электродвигателя использовалась энергия Солнца. 96 солнечных элементов модели *Solaris* обеспечивали энергию, достаточную для набора ею высоты в течение 2,5 мин (рис. 4). Заметных успехов добились и другие конструкторы. Х. Шенк (ГДР) построил модель с солнечными батареями, которая могла держаться в воздухе в течение 18 мин (в 1979 г.). Солнечные батареи, накрытые прозрачной пленкой, были расположены на крыльях (рис. 5).

Модели автомобилей, кораблей, судов и летательных аппаратов относятся к традиционным типам моделей с электрическим приводом. В этой книге описаны электроприводы именно для

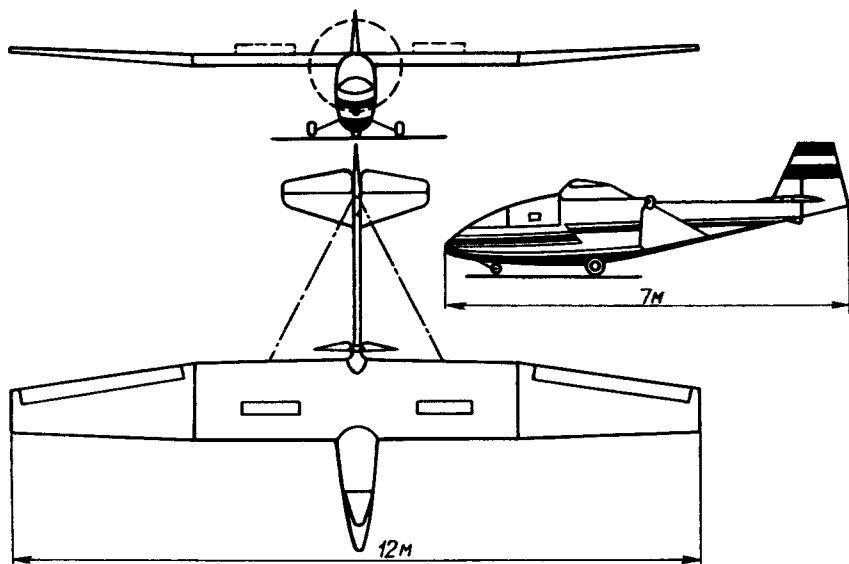


Рис. 2. Самолет *MB-E1* с электрическим двигателем

таких моделей. Однако моделисты постоянно ведут поиск новых технических решений; идет процесс не только усовершенствования самих приводов, но и расширяется область их применения. Так, в 1979 г. в Японии были построены модели аппаратов на воздушной подушке и мотоциклов без колясок, также оснащенные электроприводами. Теперь эти модели продаются в виде посылочных наборов, т. е. они уже вышли из стадии экспериментирования.

Модель аппарата на воздушной подушке может передвигать-



Рис. 3. Конструктор Ф. Милитки с радиоуправляемой моделью самолета *Hi-Fly* с электродвигателем. Сзади самолет *MB-E1*

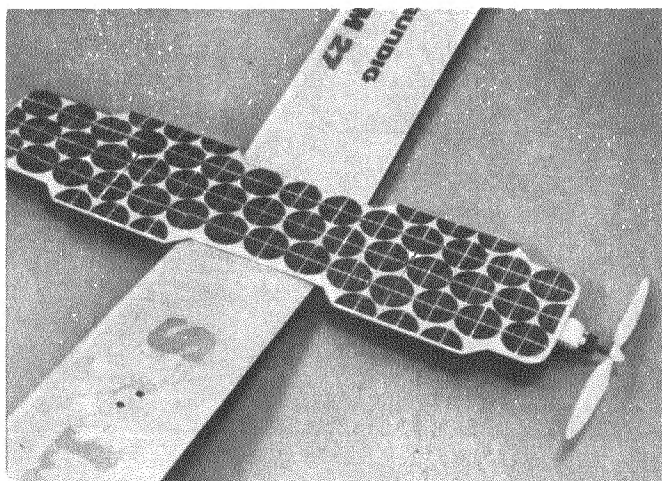


Рис. 4. Радиоуправляемый планер *Solaris* с электродвигателем

ся как над сушей, так и над водной поверхностью (рис. 6). Ее корпус выполнен из твердого пенополистирола. Для образования воздушной подушки на модели установлен электродвигатель *Mabuchi RS380S* (6В/40 Вт). Эластичная «юбка», окружающая корпус модели снизу, значительно улучшает КПД воздушной подушки. Второй электродвигатель типа *RS380S*, частоту вращения которого можно изменять на расстоянии с помощью регулятора хода, обеспечивает движение модели. Изменение направления движения производится с помощью руля, расположенного в воздушном потоке толкающего винта и переключаемого сервомеханизмом. При изменении направления вращения винта модель может передвигаться также задним ходом. Оба двигателя получают питание от двух отдельных никелево-кадмиевых аккумуляторов (7,2 В/1,2 А · ч).

Если у модели аппарата на воздушной подушке интерес пред-

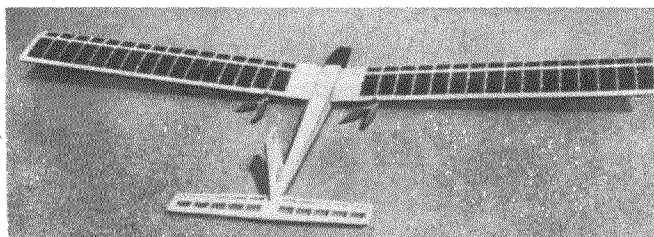


Рис. 5. Радиоуправляемая модель планера *X2* с электродвигателем и солнечными элементами на крыльях

Рис. 6. Модель аппарата на воздушной подушке во время движения по воде



ставляет в основном конструкция привода, то у радиоуправляемой модели мотоцикла (рис. 7) заслуживает внимания механизм управления передним колесом. Попытки построить управляемую на расстоянии модель мотоцикла без коляски велись уже давно. Но все они терпели неудачу из-за неудовлетворительного решения именно этого механизма. Однако благодаря оптимальному расположению центра тяжести системы, удачному выбору конструкции подвесок переднего и заднего колес, а также регулируемого привода оказалось возможным достичь устойчивого движения такой модели.



Рис. 7. Радиоуправляемая модель мотоцикла *Eleck-Rider*

Для обеспечения устойчивости движения по прямой вилке переднего колеса с помощью рулевой колонки придается продольный наклон. Конструктивной особенностью модели является способность рулевой колонки для сохранения устойчивости при изменении направления поворачиваться относительно продольной оси. При этом управляющее усилие сервомеханизма передается устройством *Servosaver* (см. рис. 30). Если рулевая колонка наклоняется, например, вправо, то передняя вилка с колесом отклоняется влево, и модель начинает правый поворот. Фирма, выпускающая такие модели, дала этой системе управления название *Semi Direkt Steering System* (система косвенного управления).

В описании указывалось на устойчивость и хорошую управляемость модели мотоцикла; правда, запуск ее требует некоторого навыка. Шины колес из мягкой резины позволяют модели проходить при соответствующей скорости повороты с наклоном до 45°. Переднее и заднее колеса поддрессорены. Рама выполнена штамповкой из стального листа. Источником питания для электродвигателя типа *RS380S* служит никелево-кадмиевый аккумулятор (6 В/1,2 А·ч) с резисторным регулятором хода. Аккумулятор, с помощью резиновых захватов крепится под рамой, благодаря чему центр тяжести всей модели расположен очень низко. Приемник расположен в фигурке «водителя». В зависимости от опыта моделиста и требуемой скорости езды можно выбирать одно из трех передаточных отношений редуктора.

Электродвигатели характеризуются следующими важными для моделиста техническими преимуществами: чистота и бесшумность работы; простота регулировки частоты вращения; возможность применения для самых различных моделей; высокая надежность работы; относительно большой срок службы; простота обслуживания.

Недостатком по сравнению с двигателями внутреннего сгорания является меньшее отношение мощности к массе электродвигателя, при расчете которого необходимо учитывать и массу аккумулятора. В течение долгого времени широкому использованию мощных электродвигателей препятствовала также их цена. Однако со временем стоимость двигателей и аккумуляторов — благодаря выпуску их большими сериями — снизилась настолько, что электродвигатели стали конкурентоспособными с двигателями внутреннего сгорания.

Чтобы правильно использовать приводы с электрическими двигателями на модели, необходимо знать их технические характеристики. Кроме того, для определения требуемой мощности привода нужно знать закономерности, которым подчиняется движение моделей автомобилей, судов, кораблей и летательных аппаратов. Дело в том, что к расчету привода относится не только расчет деталей и узлов, обеспечивающих передачу усилий от двигателя, но и расчет характеристик самого этого движения.

Какой прок от установки мощного двигателя, если, например, модель автомобиля не может двигаться по прямой или дергается на повороте, а модель катера не выходит на глиссирование или опрокидывается на вираже? На некоторых моделях для привода и поворота используются различные механизмы, на других один механизм решает обе эти задачи (например, на моделях гусеничных машин, судов с винторулевыми колонками и т. п.). Все эти особенности модели и определяют требования к приводу для нее. Нормальный привод работает с оптимальным КПД. Если же нужен привод, рассчитанный на отдачу наибольшей мощности, то в первую очередь стремятся к достижению максимальной скорости модели, не считаясь со снижением КПД.

Содержание следующих глав призвано помочь моделисту самостоятельно производить расчет привода в каждом конкретном случае.

Как и у других моделей, приводы для автомоделей определяются типом самой модели и ее назначением. Поэтому сразу же следует рассмотреть эти типы.

Согласно правилам соревнований по автомоделному спорту, к управляемым по радио моделям-копиям относятся модели, выполненные в соответствующем масштабе и копирующие настоящие автомобили, а также имеющие свободную конструкцию модели грузовых автомобилей с электроприводом или двигателем внутреннего сгорания и управляемые на расстоянии по радио (рис. 8). К ним относятся также модели гусеничных машин, военных транспортных средств и т. д. Одна из таких моделей представлена на рис. 9. Речь здесь идет об игрушечной машине на гусеницах, команды управления для которой подаются по проводам. Поскольку в такой игрушке имеется достаточно места для установки батарей и приемника аппаратуры дистанционного управления, она вполне пригодна для первых экспериментов с управлением модели на расстоянии.

Управляемые по радио автомоделели с электроприводом, участвующие в спортивных соревнованиях, в ГДР разбиты на следующие классы:

Класс RC-EA. К этому классу относятся модели, копирующие существующие транспортные средства и изготавливаемые самими модельстами в масштабе 1:8, 1:10, 1:12, 1:15, 1:20 и 1:25. Этот класс разбит на следующие подклассы:

RC-EA: модели колесных машин (легковых, грузовых, специальных и военных автомобилей), участвующие в соревнованиях на прохождении гладкой трассы (рис. 10);

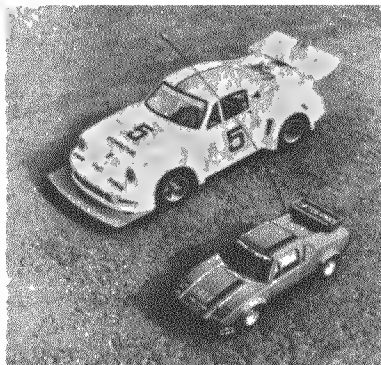
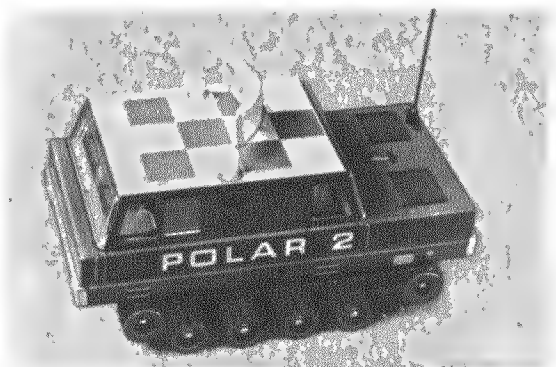


Рис. 8. Модели спортивных автомобилей *Porsche RSR Turbo* (М 1:12) и *De Tomaso Pantera* (М 1:25)

Рис. 9. Модель гусеничной машины

RC-EAK: модели гусеничных машин (например, танков), которые соревнуются в прохождении трассы с препятствиями.



Класс RC-EB. Этот класс включает модели свободных конструкций, имеющие длину до 700 мм, и состоит из следующих подклассов:

RC-EB: модели колесных машин (легковых, грузовых и специальных автомобилей), которые могут участвовать в соревнованиях на прохождение гладкой трассы;

RC-EBK: гусеничные машины (транспортеры, специальные машины и т. п.), предназначенные для соревнований на прохождение трассы с препятствиями.

Класс RC-F. В этот класс входят функциональные модели, которые копируют существующие транспортные средства (колесные, гусеничные или специальные) или близкие им по форме. В их конструкции разрешено использовать детали промышленного изготовления. По радио могут подаваться команды на



Рис. 10. Модель автомобиля класса RC-EA1 кг во время старта на прохождение специальной трассы

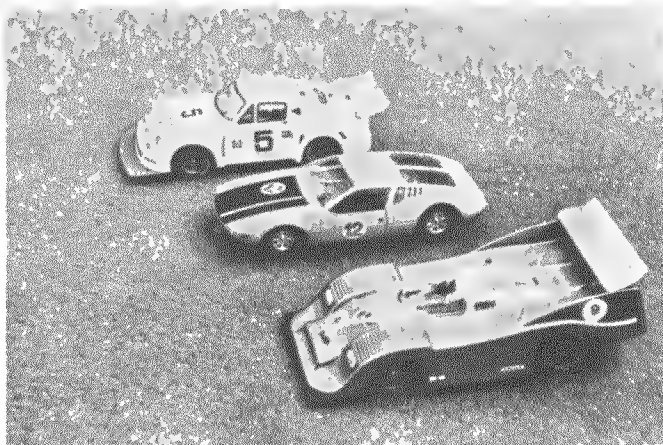


Рис. 11. Радиоуправляемые модели-копии автомобилей (слева направо) *Porsche 917*, *De Tomaso Mangusta* и *Ferrari 312*, выполненные в масштабе 1 : 12

включение фар, сигнала, срабатывание крана или кузова (у самосвала), подачу специальных сигналов и т. д.

Модели этих классов участвуют только в первенствах ГДР *. (Международные соревнования для моделей с электроприводами пока не проводятся.) Они не только получают стендовую оценку, но и участвуют в гонках на скорость. Гонки всегда вызывают большой интерес зрителей.

Для моделей класса RC-F наиболее широко применяется масштаб 1 : 12 (рис. 11). Модели спортивных автомобилей имеют внутри достаточно места для установки радиоаппаратуры и мощного привода. Их ходовые возможности производят сильное впечатление и позволяют спортсмену после небольшого числа тренировок уверенно управлять моделью на скорости 50 км/ч.

2.1. Модели колесных транспортных средств

Конструкция привода и ходовые характеристики автомоделей тесно связаны между собой. Модель должна не только устойчиво двигаться по прямой, но и уверенно проходить повороты,

* В нашей стране принята иная классификация автомоделей с электроприводами. Они разбиты на следующие классы:

ЭЛ-1 — кордовая модель-копия;

ЭЛ-2 — простейшая кордовая модель;

РЦА — радиоуправляемая модель-копия;

РЦБ — радиоуправляемая модель автомобиля свободной конструкции.

(Прим. ред.)

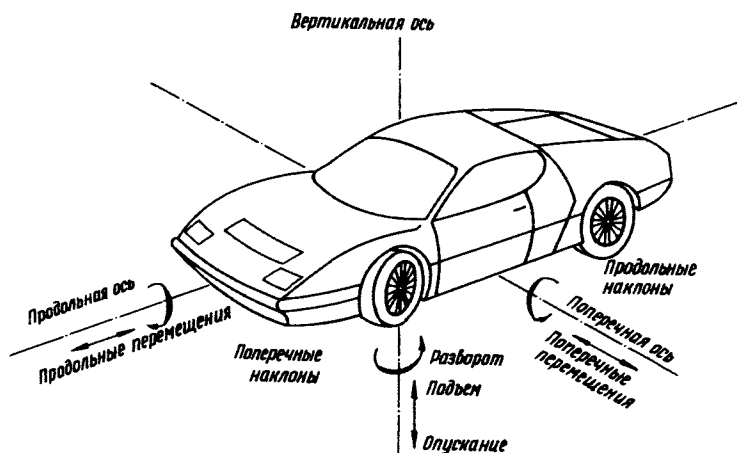


Рис. 12. Координатные оси модели и ее перемещения относительно их

быстро увеличивать скорость, надежно тормозить и преодолевать неровности трассы.

Ниже пояснены некоторые понятия, необходимые для описания реакции модели на воздействие внешних сил.

Приняты следующие **координатные оси**, проходящие через центр тяжести модели: продольная, поперечная, вертикальная.

При воздействии внешних сил модель движется вдоль или поворачивается вокруг осей. Терминология, связанная с изменением положения модели относительно этих осей, приведена в табл. 1 и пояснена с помощью рис. 12.

К динамическим ходовым характеристикам относятся: удельная масса модели, приемистость, тормозная способность, максимальная скорость и способность преодолевать подъемы.

Удельная масса, которая представляет собой отношение мощности электродвигателя к массе модели, определяет длительность работы двигателя до смены или повторного заряда источника питания, а также максимальную скорость и ускорение модели. Предельные значения этих характеристик зависят от ее конструкции. Модель должна быть рассчитана на нагрузки, возникающие во время соревнований. При этом следует учитывать также возможность опрокидывания модели и ее столкновения с другими автомоделями.

Приемистость и способность преодолевать подъемы, с одной стороны, а также максимальная скорость, с другой, не связаны между собой непосредственно. Для обеспечения хороших приемистости и способности преодолевать подъемы необходимо большое снижение частоты вращения двигателя при передаче крутящего момента на ведущие колеса, а для достижения вы-

Реакции автомодели на воздействие внешних сил

Расположение оси	Повороты вокруг оси	Перемещения вдоль оси
Продольное	Поперечные наклоны	Продольные
Поперечное	Продольные наклоны	Поперечные
Вертикальное	Повороты в горизонтальной плоскости	Подъемы и опускания

сокой скорости, наоборот, это снижение должно быть минимально возможным. Для удовлетворения этих противоположных требований к модели спортсмены вынуждены идти по пути компромисса. Чтобы модель оптимально соответствовала условиям соревнований, целесообразно применять несколько сменных редукторов. На трассах, отличающихся большим числом поворотов и хорошими прямыми отрезками, приемистость важнее, чем высокая скорость. Иное дело при соревнованиях на трассах, имеющих длинные прямые участки: здесь компромисс должен быть в пользу достижения высокой скорости.

Требования, предъявляемые к тормозной способности автомодели, соответствуют требованиям, предъявляемым к автомобилю. При этом модели с электроприводом имеют неоспоримое преимущество по сравнению с моделями с двигателями внутреннего сгорания, так как их торможение может производиться с помощью самого электродвигателя. Достаточно переключить его на задний ход, чтобы получить достаточно эффективное торможение, что делает излишней установку механических тормозов. Благодаря этому конструкция модели значительно упрощается.

При прохождении поворотов и неровностей на модель воздействуют дополнительные силы. Реакция модели на воздействие этих сил определяет ее ходовые характеристики. Ниже описаны основные факторы, влияющие на эти характеристики.

Центр тяжести

Положение центра тяжести модели определяется распределением ее массы. Детали, обладающие наибольшей массой (например, аккумуляторы), должны быть расположены вблизи центра тяжести и возможно ниже; это обеспечивает получение малой величины момента инерции относительно координатных осей и в результате более благоприятных характеристик модели при прохождении поворотов. Положение центра тяжести можно откорректировать соответствующим выбором места для приемника аппаратуры дистанционного управления.

Центр тяжести автомодели должен лежать впереди задней оси на расстоянии, составляющем примерно 40 % от базы. Это

ориентировочное значение уточняется в ходе конструирования модели и перед установкой радиоаппаратуры.

Точное положение центра тяжести построенной модели может быть найдено с помощью настольных весов. Для этого сначала определяют массу модели, готовой к соревнованиям. Затем, как это показано на рис. 13, находят нагрузки на переднюю и заднюю оси. При этом модель устанавливают горизонтально одной осью на весы, другой — на жесткую подставку. Масса автомодели должна распределяться между передней и задней осями в соотношении примерно 2 : 3 (40 и 60 %).

Найденные таким образом нагрузки на оси называются статическими. Во время движения модели их значения изменяются под влиянием ускорений и торможений, в результате чего развиваются динамические нагрузки на оси. При ускорениях передняя часть модели приподнимается, передние колеса разгружаются. Одновременно задние колеса нагружаются больше, что вызывает повышение их давления на дорожку. Это объясняет преимущества заднего расположения двигателя на характеристике разгона модели.

Иное дело при торможении, при котором передняя часть модели опускается, задняя приподнимается, в результате этого передние колеса нагружаются сильнее, задние — разгружаются. Благодаря этому тормоза на передних колесах более эффективны, чем на задних. Правда, такое расположение тормозов у радиоуправляемых моделей-копий не применяется из-за связанных с этим технических трудностей. Поэтому описанные ниже колесные автомодели относятся к стандартному варианту (управляемые передние колеса, ведущие задние колеса с тормозами).

Рама

Рама представляет собой несущий элемент модели автомобиля. На ней устанавливаются радиоаппаратура, двигатель и аккумуляторы, она несет передний и задний мосты, а также ку-

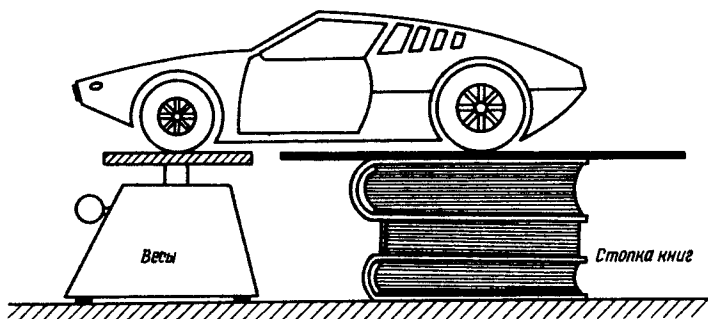


Рис. 13. Определение нагрузки на ось

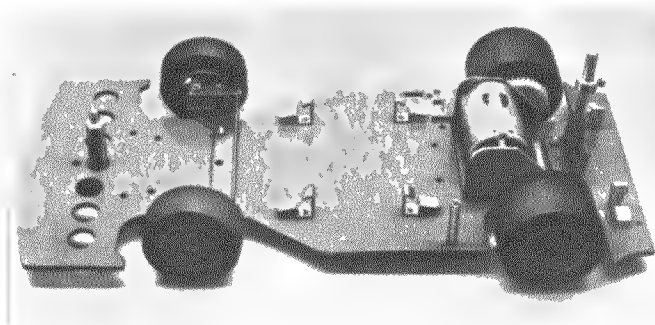


Рис. 14. Пластмассовое шасси автомаodelи, выполненной в масштабе 1 : 12

зов, поэтому испытывает значительные нагрузки. Через подвески колес на нее передаются силы, вызываемые ускорениями, торможениями и поворотами и действующие в виде изгибных нагрузок. Неровности трассы заставляют, кроме того, работать раму на кручение. Она должна быть такой жесткой, чтобы эти силы не вызвали остаточных деформаций, но в то же время такой упругой (в комбинации с подвесками), чтобы постоянно сохранялся контакт колес с дорожкой. На моделях, выполненных в масштабе 1 : 12, в большинстве случаев дополнительным поддрессированием пренебрегают, а достигают примерно равноценного эффекта за счет упругости рамы. Для этого ее можно изготовить из листа пластмассы (рис. 14). Однако рама из дюралюминия также может быть упругой и достаточно жесткой на кручение. Последнее качество можно обеспечить посредством придания ей коробчатого или П-образного поперечного сечения, что удобно для крепления двигателя и аккумуляторов.

Передняя часть рамы, имеющая форму пластины, обеспечивает приемлемое поддрессирование передних колес (рис. 15). Силы, развивающиеся при столкновениях, воспринимают пластмассовые бамперы, прикрепляемые к раме винтами.

Если колеса поддрессированы, то раму можно полностью выполнить в виде жесткой П-образной балки. К тому же рама из листового материала способствует лучшему охлаждению двигателя. Для этого его крепят с помощью широкого хомута, который обеспечивает хорошую теплоотдачу от двигателя к раме.

Поддрессирование

Хотя, как указывалось выше, сама рама в определенной мере и может решать задачу демпфирования, однако для обеспечения хороших ходовых характеристик значительно эффективнее поддрессирование колес или их осей. Чтобы колебания модели не увеличивались при повторении ударов колес о неровности

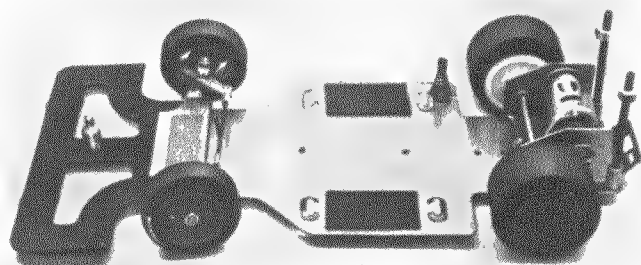


Рис. 15. Шасси из листового материала с бамперами из пластмассы

дорожки, а быстро затухали, они должны демпфироваться. Влияние ударов на модель тем меньше, чем меньше отношение неподрессоренных масс (колес, осей, подвесок) к поддрессоренным (шасси, двигатель, аккумуляторы, радиоаппаратура, кузов). Следует добиваться, чтобы собственные колебания рессор, подвесок, а также отношение неподрессоренных масс к поддрессоренным были оптимальными.

Рессоры предназначены для обеспечения постоянного контакта колес с дорожкой. Правда, колебания модели, особенно если они нарастают, снижают ее устойчивость. Следовательно, демпфирующие элементы должны воспринимать энергию колебаний модели и максимально быстро преобразовывать ее в тепло. На автомобилях эту задачу выполняют жидкостные амортизаторы. На моделях же для этой цели используют простые фрикционные амортизаторы в комбинации с винтовыми пружинами. Листовые рессоры обладают высоким собственным демпфированием.

При выборе конструкции рессор для модели учитывается не только их демпфирующая способность, но и простота изготовления, возможность быстрой замены и ремонта.

Передний мост на автомоделях в большинстве случаев выполняется в виде поперечной листовой рессоры (рис. 16). При таком простом решении вопроса рессора одновременно играет роль составной части подвески.

Углы установки передних колес

Поскольку ниже рассматриваются автомоделі, задняя ось которых выполняется неразрезной, ограничимся анализом различных угловых положений передних осей. Эти угловые положения оказывают влияние на характеристики езды модели по прямой, величину управляющих усилий на поворотах, возврат элементов управления в нейтральное положение после прохождения поворота, а также износ шин.

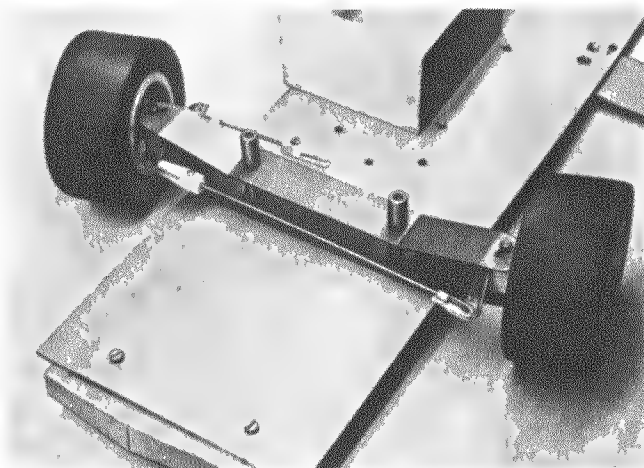


Рис. 16. Установка передних колес на поперечной листовой рессоре

Схождение

Схождением колес называется угол между продольными осями колес и рамы (рис. 17). При езде по прямой вращающиеся колеса под воздействием развивающихся при этом сил стремятся развернуться вокруг шкворней наружу, но благодаря правильному выбору угла схождения они на прямых участках зани-

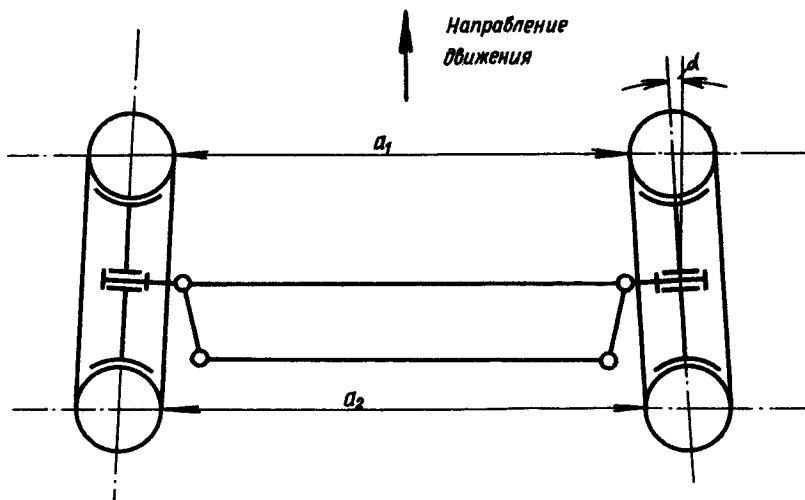


Рис. 17. Схождение передних колес

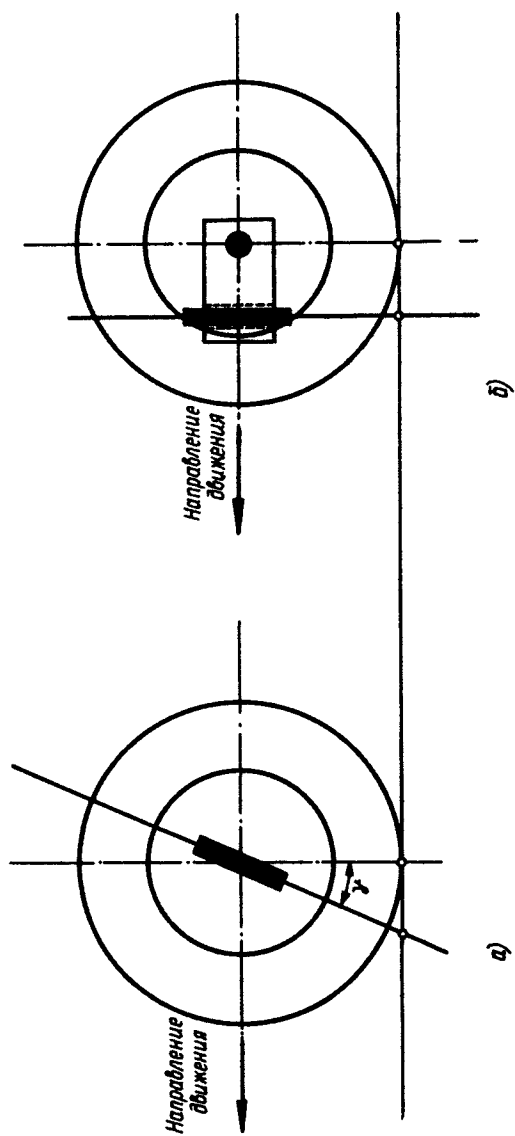


Рис. 18. Продольный наклон (а) и вынесение вперед (б) шкворней передних колес

мают параллельное друг другу положение. Величина схождения может составлять от 0 до 3° (нулевое значение справедливо для ведущих передних колес); оптимальное значение находится экспериментально. При правильной установке схождения передние колеса вращаются без колебаний, а шины не испытывают заметного износа. Так как измерение угла схождения на модели вызывает трудности, производят замер расстояний между краями дисков колес спереди и сзади и полученные значения сравнивают с рассчитанными. Эти измерения следует производить при установке колес в нейтральное положение, поскольку при их повороте схождение изменяется вследствие действия рулевой трапеции.

Продольный наклон шкворней

Этот наклон характеризуется углом между осью шкворня и вертикалью в продольной вертикальной плоскости (рис. 18). Благодаря ему при поворотах возникает восстанавливающий момент, уменьшающий усилие, которое необходимо для возвращения колес в нейтральное положение. Кроме того, продольный наклон шкворней, как и схождение, предотвращает рыскание передних колес. Величина этого наклона выбирается в пределах от 8 до 25° . Большое значение вызывает необходимость в больших управляющих усилиях, что вызывается более высоким восстанавливающим моментом. Тот же эффект может быть достигнут вынесением шкворня (при сохранении его вертикального положения) вперед относительно оси вращения колеса.

Развал и поперечный наклон шкворней передних колес

Углом развала называется угол наклона колеса относительно

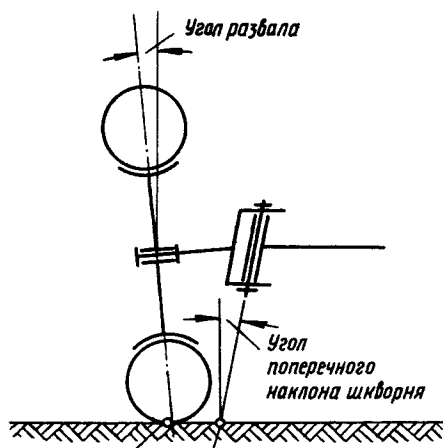


Рис. 19. Развал и поперечный наклон шкворней передних колес

но продольной вертикальной плоскости (рис. 19). При положительном угле развала колесо своей верхней частью наклонено наружу, при отрицательном — внутрь. Как правило, передним управляемым колесам придается положительный угол развала, составляющий от 0,5 до 3°. Такой угол позволяет получить равномерную нагрузку на подшипники колес и уменьшить управляющие усилия. Однако следует принимать возможно меньшие углы развала, так как при слишком больших углах колеса начинают колебаться во время движения, увеличивается износ шин. Отрицательный угол развала применяется только у спортивных автомобилей; он улучшает устойчивость автомобиля, но увеличивает износ шин.

Угол поперечного наклона шкворня представляет собой угол между продольной вертикальной плоскостью и осью шкворня в поперечной плоскости. Правильная установка развала и поперечного наклона шкворней уменьшает требуемые управляющие усилия, снижает воздействие неровностей дорожки на рулевое управление, повышает устойчивость модели при езде на прямых участках (подобно действию угла продольного наклона шкворней) и уменьшает износ шин.

Совместное действие схождения, развала и углов наклона шкворней передних колес оказывает решающее влияние на ходовые характеристики модели. Их оптимальные значения определяются экспериментально для каждой модели.

Подвеска колес

Задачей подвесок является обеспечение упругой передачи сил между рамой и колесами (вызываемых массой модели), а также между колесами и рамой (вызываемых ускорениями, торможениями и поворотами). Кроме того, подвеска должна обеспечивать постоянный контакт колес с полотном дорожки. При этом масса самой подвески должна быть минимальной, а углы установки колес не должны изменяться (или изменяться в небольших допускаемых пределах) при изменении направления движения и езде по неровностям. Все эти требования не выполняет ни одна из известных сейчас конструкций. Ниже рассмотрены два оправдавших себя варианта подвесок.

Что касается передних колес, то здесь оправдала себя независимая подвеска с поперечными рычагами. В конструкции, показанной на рис. 16, роль поперечных рычагов независимой подвески играют концы поперечной листовой рессоры. На рис. 20 также показана подвеска, в которой использованы поперечные рычаги, но без подрессоривания: демпфирование здесь обеспечивается упругостью пластмассовой рамы. Поперечный и продольный наклоны шкворней на подвеске, представленной на рис. 21, выполнены посредством соответствующего изгиба рамы.

При неподдрессоренной подвеске передних колес, а также продольном и поперечном углах наклона шкворней на повороте

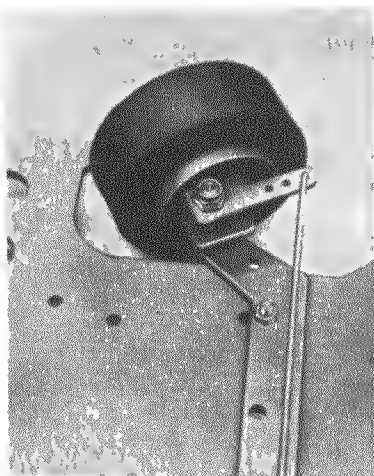


Рис. 20. Подвеска передних колес без развала

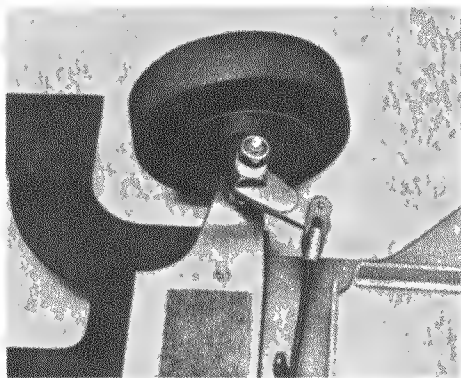


Рис. 21. Подвеска передних колес с развалом

внешнее (относительно центра поворота) колесо приподнимается, внутреннее — опускается. Чтобы внешнее колесо не потеряло контакт с дорожкой, рама должна быть достаточно гибкой. При жесткой раме поперечный наклон шкворней должен быть меньше, чем при гибкой.

Задний мост автомоделей в большинстве случаев выполняется с неразрезной осью. Несмотря на свои отдельные недостатки, такая «грубая» конструкция самым лучшим образом оправдала себя на практике, обеспечивая простую передачу крутящего момента от двигателя на задние колеса. В конструкции заднего моста, показанного на рис. 22, оба колеса посажены на одну неразрезную ось, которая установлена в подшипниках из бронзопластики. На рис. 23 представлен задний мост также с неразрезной осью, но с возможностью его колебания вокруг продольной оси. Такая конструкция обеспечивает лучшее контактирование задних колес с дорожкой.

Усовершенствовать подвеску, показанную на рис. 23, можно путем ее поддрессирования. Для этого двигатель, ось и колеса следует объединить в один узел, подобный двигателю с опорно-осевой подвеской, который применяется для привода железнодорожных локомотивов. Однако это ведет к увеличению массы непродессоренных элементов, что, как указывалось выше, нежелательно.

Рулевое управление

Подвеска передних колес и рулевое управление тесно свя-



Рис. 22. Задний мост с неразрезной осью

заны между собой. Рулевое управление должно обеспечивать маневренность (малый радиус поворота) и свободное вращение колес при ускорениях и торможениях, а также при прохождении поворотов и неровностей дорожки. У автомоделей, управляемых по радио, рулевое управление состоит из рычага рулевой трапеции, поперечной рулевой тяги, поворотного рычага и тяги сервомеханизма (рис. 24). При прохождении моделью поворота каждое колесо катится по своей колее, причем внутреннее (по



Рис. 23. Задний мост с неразрезной осью, имеющий возможность совершать колебания вокруг продольной оси

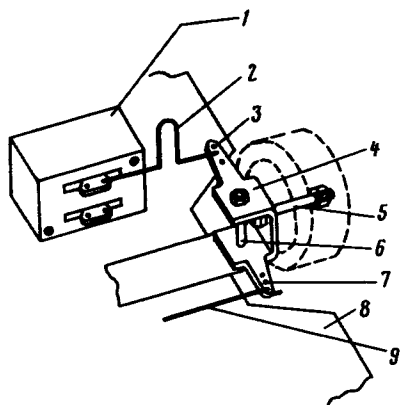


Рис. 24. Рулевое управление автомоделл:

1 — сервомеханизм; 2 — тяга сервомеханизма; 3 — рычаг поворотной цапфы; 4 — кронштейн оси; 5 — цапфа; 6 — болт крепления кронштейна; 7 — рычаг рулевой трапеции; 8 — рама; 9 — поперечная рулевая тяга

отношению к центру поворота) переднее колесо проходит более короткий путь, чем внешнее (рис. 25). При этом внутреннее колесо должно быть повернуто на больший угол β , чем угол α поворота внешнего колеса. Разницу этих углов $\beta - \alpha$ при поворотах обеспечивает рулевая трапеция. Линии рычагов трапеции при нейтральном положении колес должны пересекаться на оси задних колес (рис. 26).

Путем изменения длины поперечной рулевой тяги можно регулировать величину схождения. Для этого на проволоочной тяге предусматривают П-образный петлевой изгиб (рис. 27), который позволяет изменять расстояние между осями отверстий на вилкообразных лапках, предназначенных для шарнирного соединения тяги с рычагами рулевой трапеции. Изгиб также бес-

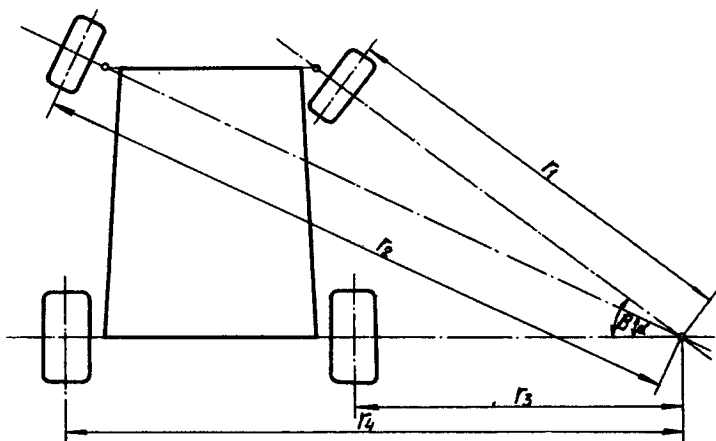


Рис. 25. Поворот передних колес

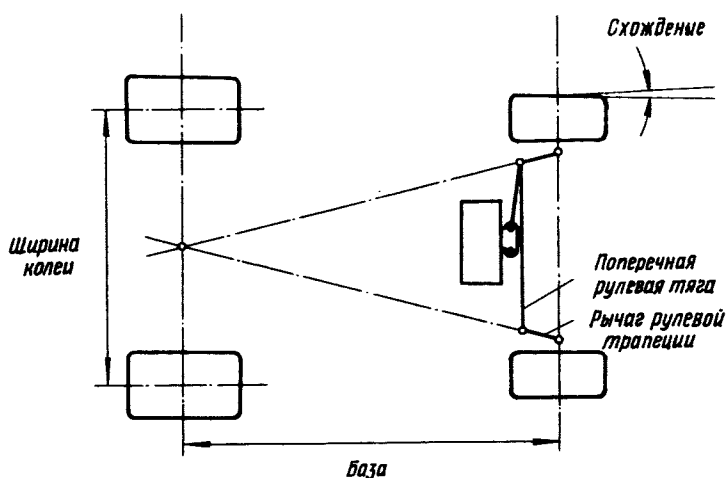


Рис. 26. Геометрия рулевой трапеции

печивает амортизацию ударных нагрузок, передаваемых на тягу сервомеханизма при наезде колес на неровности дорожки.

Сказанное выше справедливо и для изготовления тяги сервомеханизма. Чаще всего она крепится непосредственно к одному из рычагов рулевой трапеции и должна, во-первых, передавать на колеса управляющее усилие и, во-вторых, гасить довольно значительные ударные нагрузки, возникающие при наездах на препятствия, чтобы предохранить сервомеханизм от повреждения. В простейшем случае роль демпфера может играть угловой рычаг, выполненный из упругого материала (рис. 28). Однако

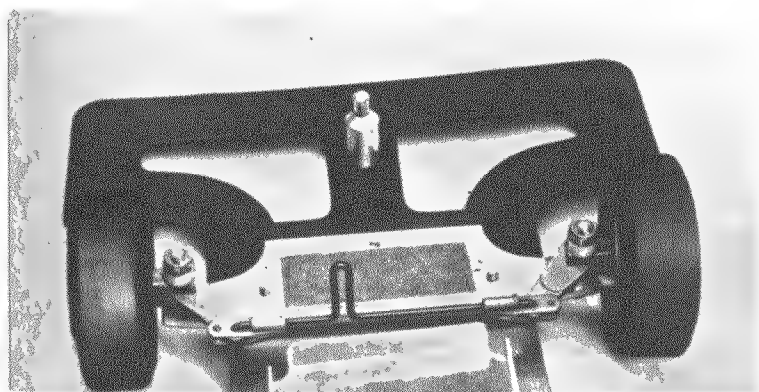


Рис. 27. Поперечная рулевая тяга с изгибом

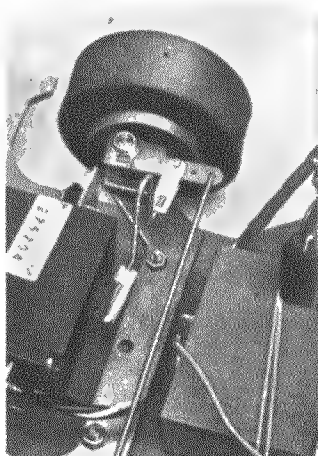


Рис. 28. Рулевое управление с угловым рычагом

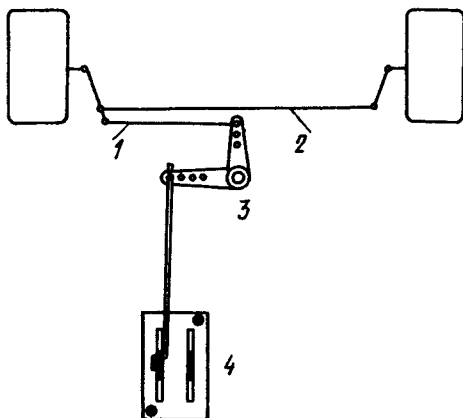


Рис. 29. Тяга сервомеханизма с изгибом:

1 — тяга сервомеханизма; 2 — поперечная рулевая тяга; 3 — угловой рычаг; 4 — сервомеханизм

более эффективное гашение таких ударов обеспечивает проводочная тяга с петлевым изгибом (рис. 29). Изгиб, кроме того, позволяет точно регулировать длину тяги сервомеханизма по нейтральному положению колес.

Чтобы исключить повреждения зубчатой пары в сервомеханизме рулевого управления от ударов при наездах на препятствия, на крупных моделях предусматривают эффективное демпфирование рычажной системы. В конструкции, показанной на рис. 30, а, управляющее усилие сервомеханизма передается на поперечную рулевую тягу через угловой рычаг А. При этом связь между рычагом и тягой осуществляется с помощью пружины, имеющей форму вилки и охватывающей установленные на них поводковые штифты. При ударах колес о неровности дорожки энергия смещения тяги демпфируется пружиной. Жесткость пружины определяется требуемой степенью защиты сервомеханизма, а также необходимой «жесткостью» передачи усилия от сервопривода на колеса.

Подобная конструкция, но с возможностью регулирования «жесткости» передачи усилия, показана на рис. 30, б.

Колеса

Колесо автомодели состоит из шины, обода, декоративного диска, ступицы и подшипника. Шины, хотя и значительно упрощенные по конструкции, призваны играть роль, сравнимую с ролью шин настоящего автомобиля. Другими словами, они должны обладать хорошим сцеплением с полотном дорожки, проч-

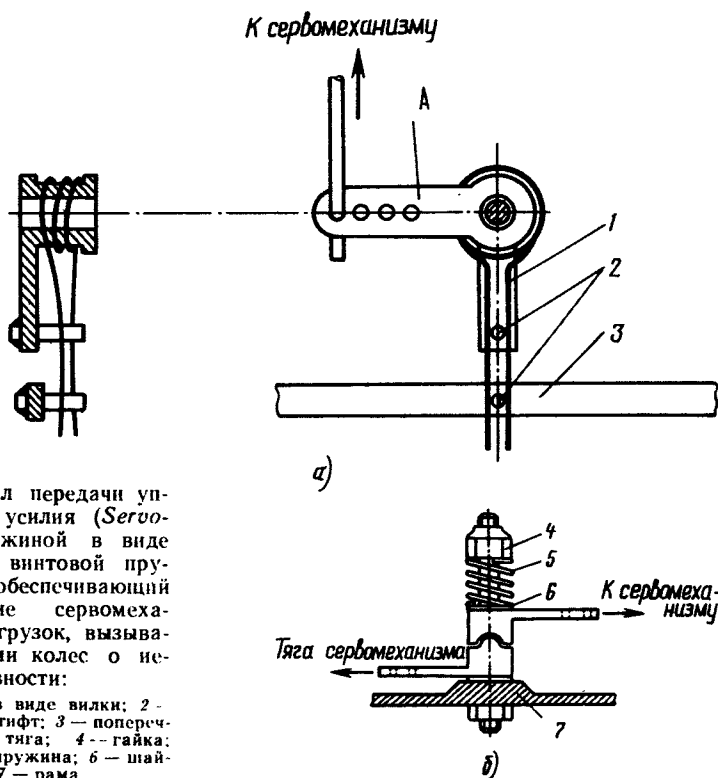


Рис. 30. Узел передачи управляющего усилия (Servo-saver) с пружиной в виде вилки (а) и винтовой пружиной (б), обеспечивающий предохранение сервомеханизма от нагрузок, вызываемых ударами колес о неровности:

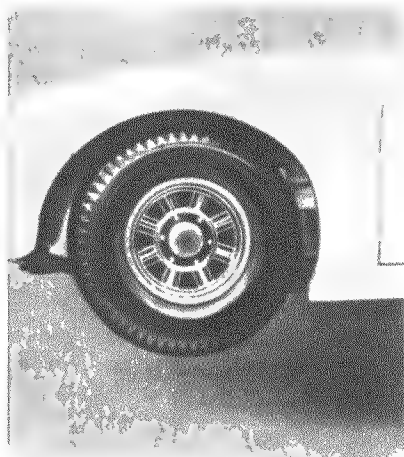
1 — пружина в виде вилки; 2 — поводковый штифт; 3 — поперечная рулевая тяга; 4 — гайка; 5 — винтовая пружина; 6 — шайба; 7 — рама

но сидеть на ободах, быть стойкими на истирание, обеспечивать малое сопротивление качению и хорошие демпфирующие свойства. Эти требования частично противоречат друг другу, поэтому на практике приходится идти на компромисс. Лучшее всего для гоночных автомобилей оправдали себя шины из износостойкой губчатой резины средней твердости. Требуемая твердость резины определяется качеством полотна дорожки. Мягкая резина обеспечивает лучшее сцепление с дорожкой, однако она быстрее истирается. При влажной дорожке сцепление можно улучшить с помощью нанесения на шину слоя клея.

Заготовку для шины, вырезанную из губчатой резины, приклеивают к ободу, причем лучше, если он имеет шероховатую поверхность. Затем при вращении обода поверхность шины обрабатывают наждачной шкуркой, придавая ей правильную цилиндрическую поверхность. Для широких шин задних колес склеивают вместе несколько слоев губчатой резины. Иногда для шин можно использовать плотную литую резину, например мягкую резину для обувных подошв. Шины для моделей-копий изготавливают целиком из резины или мягкой пластмассы. Точное



а)



б)

Рис. 31. Передние колеса с пластмассовым ободом и шинами:
а — резиновыми; б — пластмассовыми

воспроизведение их формы и профиля является здесь более важным, чем хорошее сцепление с дорожкой.

Обода колес автомоделей отливают из ударопрочных пластмасс или вытачивают из алюминиевых сплавов (рис. 31). И в том и в другом случае они должны быть максимально легкими и правильно воспроизводить прототип. Для фиксации шины они должны иметь выступающие закраины, а поверхность, на которую садится шина, — рифление. Шина должна сидеть на ободе с натягом, для надежности целесообразно предусмотреть ее прихватывание клеем.

Пластмассовые обода надевают непосредственно на ось или шкворни, в алюминиевых ободах предусматривают подшипники из бронзопластики или шарикоподшипники. В каждом конкретном случае следует решить, оправдана ли установка шарикоподшипников. Хотя эти подшипники и уменьшают сопротивление качению, однако довольно быстро загрязняются. Для продления срока службы подшипники следует подвергать очистке и менять смазку после каждого длительного цикла их работы.

Привод колеса

Самым простым и наиболее оправдавшим себя приводом является редуктор из двух зубчатых цилиндрических колес, обеспечивающих прямую передачу крутящего момента от двигателя на колеса (рис. 32). Ведущее колесо на оси двигателя выполняется из стали или латуни. При наличии нескольких пар зубчатых колес можно легко менять передаточное отношение ре-

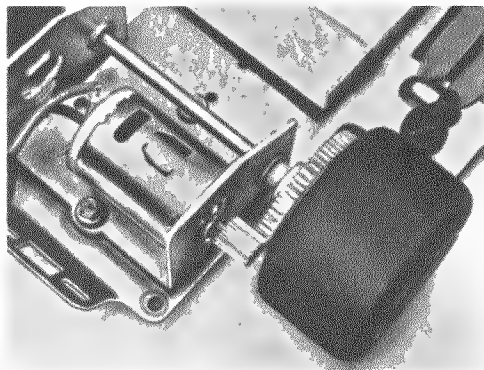


Рис. 32. Привод задних колес

дуктора для различных условий езды. Большое ведомое колесо на задней оси изготовляют из вязкой ударопрочной пластмассы, не требующей смазки.

При конструировании заднего моста необходимо помнить о том, что, как и в случае передних колес, на поворотах внутреннее колесо катится по меньшему радиусу, чем внешнее. Для предотвращения проскальзывания одного из колес в простейшем случае одно колесо делают свободно вращающимся на задней оси. Однако при этом трудно добиться оптимальной передачи крутящего момента на колеса, что важно для гоночных

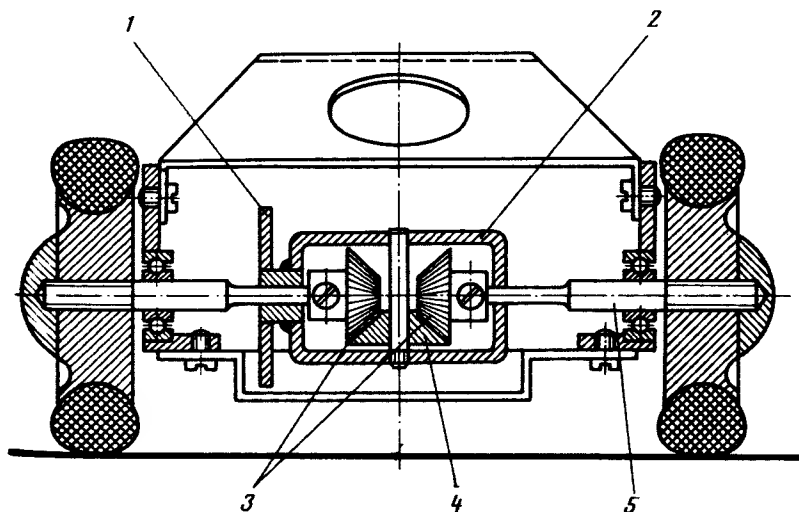


Рис. 33. Дифференциал:

1 — ведомое зубчатое колесо редуктора; 2 — корпус дифференциала; 3 — конические зубчатые колеса на полуосях; 4 — компенсирующее зубчатое колесо; 5 — полуось

Крутящий момент на колесо, правое на рисунке, передается через свободно вращающееся компенсирующее зубчатое колесо

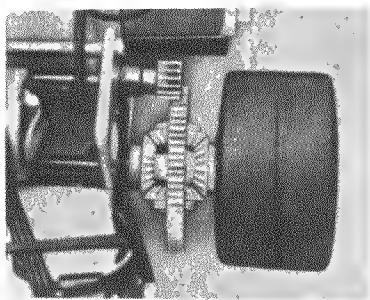


Рис. 34. Дифференциал на модели

моделей и моделей, предназначенных для соревнований на трассах с препятствиями. Кроме того, такая конструкция приводит к смещению вектора тяги в сторону ведущего колеса, причем износ этого колеса происходит намного быстрее, чем свободно вращающегося.

Определенные недостатки имеет жесткая посадка обоих задних колес на одной оси, т. е. применение заднего моста с неразрезной осью (см. рис. 22). При этом, хотя передача тягового усилия осуществляется равномерно на оба колеса, невозможно предотвратить проскальзывание колес на поворотах из-за разницы путей их качения.

Недостатков описанных выше конструкций нет у моста с дифференциалом (рис. 33), который изменяет скорости вращения ведущих колес в соответствии с их сопротивлением. Между обоими колесами при этом сохраняется силовая связь, поэтому даже на поворотах оба колеса обеспечивают тяговое усилие. Но при различных коэффициентах трения то колесо, трение которого о дорожку меньше, начинает вращаться с большей скоростью. Такие случаи наблюдаются, когда автомоделю при прохождении трассы с препятствиями «садится» на мост и одно из задних колес разгружается. На вездеходах в подобных ситуациях дифференциал блокируется. Самым простым и наилучшим решением для моделей вездеходов является применение жесткого крепления задних колес на оси.

Однако в соревнованиях на скорость модели, оборудованные задним мостом с дифференциалом, предпочтительнее, так как при этом тяговое усилие обеспечивают оба колеса, а потери на проскальзывание отсутствуют, что позволяет проходить повороты с более высокими скоростями. При этом, если правое колесо является внутренним относительно центра поворота, то правая полуось вращается медленнее. Компенсирующее зубчатое колесо соответственно разгружает ее, передавая повышенный крутящий момент на левое колесо. Возможно объединение дифференциала с ведомым колесом редуктора (рис. 34).

Передача крутящего момента от двигателя на заднюю ось

через зубчатые колеса хоть и является одним из возможных решений, но применяется чаще всего. Известны такие конструкции, в которых крутящий момент передается зубчатыми ремнями.

Ходовые качества зависят от конструкции шасси, подвесок, рулевого управления, колес, редуктора, а также от таких параметров, как положение центра тяжести и угол установки колес. Все эти элементы конструкции модели и параметры тесно связаны друг с другом; их оптимальное соотношение обычно находят экспериментально. Но начинающим спортсменам лучше воспроизводить уже оправдавшие себя конструкции, стараясь по возможности их усовершенствовать.

Если модель, построенная своими руками, предназначена для большего, чем управление ее ездой по полу квартиры между стульями и ножками стола, то овладение мастерством ее вождения должно быть целенаправленным. Управлению движением автомодели как по гладкой трассе, так и по трассе с препятствиями необходимо учиться так же, как и управлению настоящим автомобилем.

После нескольких часов тренировки можно перейти к оптимизации ходовых качеств модели. При этом следует учитывать явление бокового увода колес при прохождении моделью поворота на большой скорости. Боковым уводом называется поворот плоскости качения эластичной шины колеса по отношению к плоскости его вращения под воздействием боковой нагрузки от центробежной силы. В зависимости от соотношения углов бокового увода передних и задних колес автомодели делятся на три типа:

модели с избыточной устойчивостью, у которых угол бокового увода передних колес больше угла бокового увода задних колес;

модели с недостаточной устойчивостью, у которых, наоборот, больше угол бокового увода задних колес;

модели с нейтральной устойчивостью, у которых углы эти равны.

Как же должна себя вести скоростная модель? Модель, обладающая нейтральной устойчивостью, может проходить повороты с максимальной скоростью, к которой и следует стремиться. Однако при ускорениях в процессе поворота такая модель склонна к появлению у нее недостаточной устойчивости. В таких случаях малейшая неверная команда приводит к неконтролируемому развороту модели. Иное дело — избыточная устойчивость. Если такая модель неожиданно начинает разворачиваться в процессе поворота, следует убрать «газ», и она снова пойдет по нужной кривой. Аналогично следует поступать и в том случае, если при ускорениях на прямой модель начинает заносить.

Таким образом, модель нужно регулировать так, чтобы ее характеризовала несколько избыточная устойчивость. Для начала целесообразно сильно повысить и затем снижать ее до тех

пор, пока модель не станет способной проходить повороты на максимальный скорости. Эта регулировка производится изменением центра тяжести и углов установки передних колес (табл. 2). С этой целью можно также изменять твердость шин. При повышении твердости шин передних колес и снижении у задних колес устойчивость несколько повышается.

Таблица 2

Углы установки передних управляемых колес

Угол установки	Достигаемый эффект
Схождение	Отсутствие биений колес Малый износ шин
Продольный наклон шкворней	Стремление колес возвратиться в нейтральное положение Повышение устойчивости езды на прямых участках
Положительный развал	Отсутствие биений колес Предотвращение вредного влияния зазоров в подшипниках Повышение устойчивости управления (при слишком большом развале колеса склонны к биениям)
Отрицательный развал	Снижение износа шин Предотвращение вредного влияния зазоров в подшипниках Повышение устойчивости на поворотах
Поперечный наклон шкворней	Повышение износа шин Повышение усилия управления Стремление колес возвратиться в нейтральное положение Повышение устойчивости езды на прямых участках Снижение воздействия ударов о дорожку на сервомеханизм рулевого управления

Если при прохождении поворотов на большой скорости модель всегда разворачивается в одну сторону, нужно проверить нагрузку на колеса. Для этого можно измерить нагрузку на ось (см. рис. 13) и проверить также равномерность ее распределения на колеса. Корректировку нагрузки на каждое колесо можно осуществить, подкладывая кусочки фольги под крепление поперечного рычага подвески.



Рис. 35. Модель автомобиля *Renault Alpine*

Если модель должна иметь примерно такие же ходовые качества, как и копируемый автомобиль, то особого внимания требуют конструкции рулевого управления и подвесок. Но при воспроизведении особенностей конструкции копируемого автомобиля следует учитывать и конструктивные особенности современных автомоделей.

В качестве примера можно назвать выпускаемую в Японии модель автомобиля *Renault Alpine* (масштаб 1 : 10), которая выполнена с большими техническими подробностями (рис. 35). Ее передний мост с высокой точностью воспроизводит конструкцию моста настоящего автомобиля (рис. 36). Жесткость рессор можно регулировать увеличением и уменьшением их предваритель-

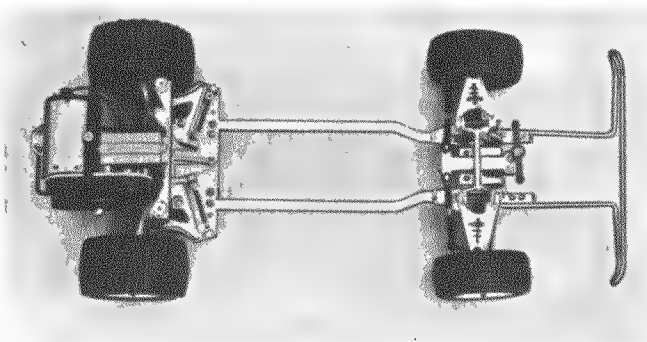


Рис. 36. Шасси модели автомобиля *Renault Alpine*



а)



б)

Рис. 37. Конструкция мостов модели автомобиля *Renault Alpine*:

а — передний мост с независимой подвеской колес, выполненный по двухрычажной схеме; б — задний мост с качающимися полуосями, дифференциалом и сменным редуктором (крышка редуктора снята)

ного натяжения. Предусмотрена также пружина в узле передачи усилия от сервомеханизма на поперечную рулевую тягу (*Servosaver*). Независимая подвеска передних колес отличается малыми неподрессоренными массами. Эта конструкция обеспечивает хороший контакт колес с полотном дороги, а также точное выдерживание углов установки передних колес (схождение, развал, углы наклона шкворней).

Оба моста этой модели достаточно сложны по техническому исполнению (рис. 37). Задние колеса имеют независимую подвеску с двумя качающимися полуосями, передача крутящего мо-

мента на них осуществляется через дифференциал. Расположенные под углом треугольные рычаги, опертые на винтовые пружины, воспринимают продольные и поперечные усилия, действующие на колеса. Характеристики подрессоривания и передачи крутящего момента, с одной стороны, а также геометрия изменения колеи, развала и базы, с другой, хорошо увязаны друг с другом.

Сменные комплекты зубчатых колес для редуктора позволяют выбирать любое из трех передаточных отношений ($6,7:1$, $10,8:1$, $18,8:1$), рассчитанных на обеспечение трех скоростей движения модели (30 , 15 и 5 км/ч). Кроме того, дифференциал может быть включен на передаточное отношение $2,8:1$. На максимальной передаче ($18,8:1$) модель может преодолевать значительные подъемы — до 45° .

Однако ходовые качества модели можно улучшить, во-первых, за счет усовершенствования конструкции подвески и дифференциала, во-вторых, передний мост с помощью еще одного электродвигателя и дифференциала можно сделать также ведущим. Таким образом, для экспериментирования еще остается достаточно простора.

Среди моделей колесных средств городского транспорта и вездеходов преобладают модели автомобилей. Почему бы, однако, не построить модель самого известного управляемого на расстоянии аппарата — Лунохода (рис. 38)? Все колеса Лунохода-2 (см. рис. 1) были оснащены двигателями, что обеспечило ему отличную проходимость.

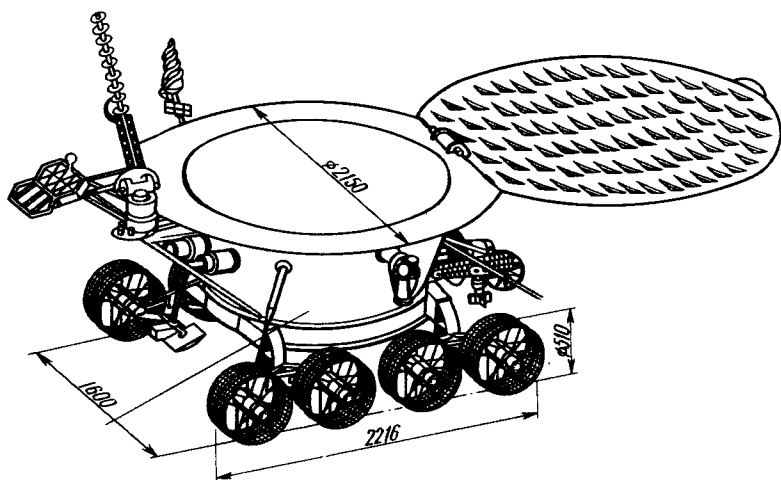


Рис. 38. Луноход-1 (расположение оборудования и размеры)

2.2. Модели гусеничных машин

Типичными представителями гусеничных машин являются танки, а также военные и гражданские транспортные средства повышенной проходимости. У гусеничных машин (в отличие от колесных) привод и рулевое управление тесно связаны. Гусеницы используются как для обеспечения движения, так и изменения его направления. Преимуществами гусеничных машин являются их способность преодолевать вертикальные препятствия и подъемы, хорошая проходимость, недостатками — небольшая скорость и значительно большая мощность, требуемая для обеспечения движения.

Ходовая часть гусеничной машины состоит из гусениц, ведущих колес с устройством натяжения гусеницы и, иногда, опорных катков (рис. 39). Гусеницы настоящих танков состоят из траков, выполненных из высококачественной стали, с направляющими выступами и без них. Выступы захватываются соответствующими впадинами на ведущем колесе, что обеспечивает обкатывание гусеницы вокруг него. В некоторых конструкциях гусениц отдельные траки имеют отверстия, в которые входят зубья ведущего колеса; при этом направляющие выступы могут быть выполнены значительно более слабыми, так как здесь они используются только для предотвращения сброса гусеницы. Такие конструкции нашли применение на вездеходных транспортных средствах более легкого типа. Гусеницы для моделей чаще всего изготавливают из резины (с кордом) или пластмассы (поливинилхлорида и т. п.). Изготовление траков из металла требует высокой квалификации, очень трудоемко, кроме того, для этого необходимо специальное механическое оборудование.

Направляющие колеса настоящего танка — стальные, с обрешеченным ободом. Они обеспечивают направление движения гусеницы и ее натяжение, которое необходимо при установке новой гусеницы или вытягивании старой. Надежность направления



Рис. 39. Модель среднего танка Т-62



Рис. 40. Модель тяжелого танка ИС-3

гусеницы особенно важна при поворотах, когда она испытывает боковые усилия. На заднем ходу направляющее колесо должно выдерживать все усилие, с которым ведущее колесо тянет гусеницу. Опорные катки передают нагрузки на гусеницу и предотвращают ее смещение в сторону. Если эти катки имеют небольшой диаметр, то верхняя половина гусеницы опирается на поддерживающие катки (рис. 40), которые обычно применяются на тяжелых танках. Если же опорные катки достаточно велики, то поддерживающие катки не нужны. Типичными примерами здесь являются танки Т-54 и ПТ-76.

Опорные катки в большинстве случаев подрессориваются. Для этого применяются листовые и винтовые рессоры, а также торсионная подвеска. Резиновые обода на опорных катках смягчают жесткие удары. На танке Т-54 все катки имеют независимую торсионную подвеску. Применяется также подвеска двух или более катков на одном балансира.

Несколько слов о работе привода на моделях гусеничных машин. На прямых участках обе гусеницы движутся с одинаковой скоростью, а на поворотах — одна медленнее другой. При этом радиус поворота определяется степенью торможения гусеницы. Поворот на месте достигается при полной остановке одной из гусениц.

На танках применяются сложные устройства управления и торможения, полное копирование которых невозможно и не нужно осуществлять на модели, где это устройство значительно проще. С помощью аппаратуры пропорционального управления можно имитировать все ходовые режимы, как у настоящего танка или другой гусеничной машины. Для этого привод каждой гусеницы осуществляется с помощью отдельного двигателя, управляемого своим регулятором хода. Регуляторы позволяют плавно изменять скорость движения гусениц независимо друг от друга от «полного вперед» до «полного назад». Это дает возможность модели двигаться вперед или назад, поворачиваться на месте или лишь слегка изменять направление движения.

Чтобы модель развивала соответствующую тягу, крутящий

момент двигателя передается на ведущее колесо через понижающий редуктор. Модель должна имитировать прототип в проходимости, преодолении препятствий, подъемах в горку, буксировке и т. д.

2.3. Модели плавающих машин

Плавающие машины оборудованы движителями, которые могут обеспечивать тягу на воде. Эти машины бывают как колесными, так и гусеничными. Типичными представителями военных плавающих машин являются плавающие танки, например танк ПТ-76 (рис. 41). Он оснащен водометным движителем, два выходных отверстия которого расположены в корме и при движении по земле закрываются крышками. Преимуществом водометного движителя по сравнению с винтом является лучшая защищенность от механических повреждений.

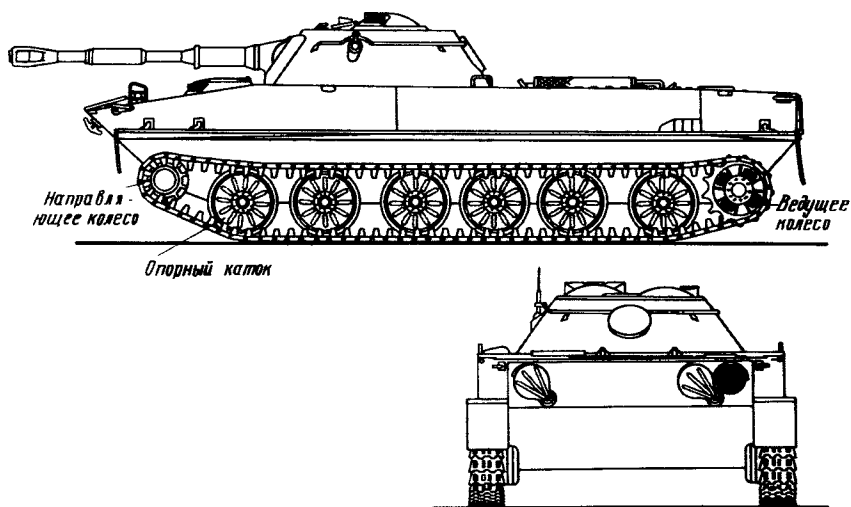


Рис. 41. Чертеж плавающего танка ПТ-76

Конструкция привода определяется главным образом его назначением, а также формой копируемого корабля или судна. Особенно большим разнообразием отличаются электроприводы моделей-копий (рис. 42). Выбирая оптимальный привод с учетом назначения и конструктивных особенностей прототипа, моделист определяет также, в каком режиме должен работать привод: в нормальном или форсированном (связанные с этим проблемы рассмотрены в следующих главах). В зависимости от типа привода различают модели-копии (водоизмещающие, привод работает в нормальном режиме) и скоростные модели произвольной конструкции (глиссирующие, привод работает в форсированном режиме).

Чтобы модель-копия и на ходу соответствовала прототипу, аппаратура управления ее приводом должна отвечать определенным требованиям (например, плавное изменение частоты вращения в обоих направлениях).

Модели произвольных конструкций, строго говоря, не являются моделями реально существующих кораблей и судов. В корпусе такой модели, построенном с учетом гидродинамики, установлены только привод и аппаратура управления. Решающим, если не единственным требованием к ним являются обеспечение

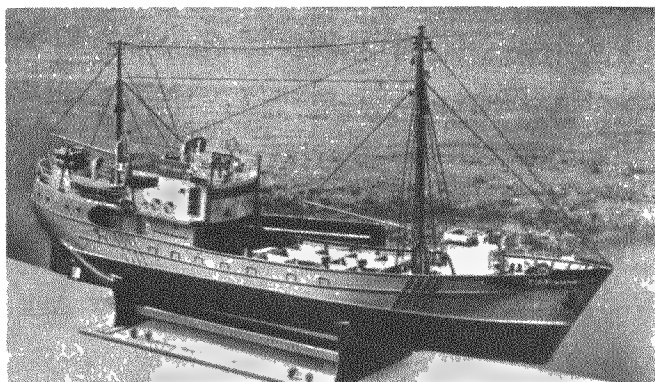


Рис. 42. Модель среднего рыболовного траулера

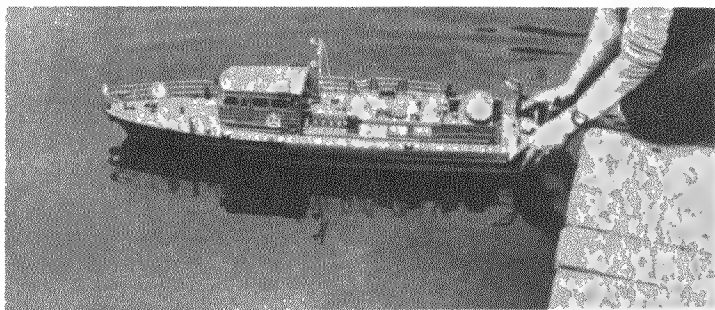


Рис. 43. Модель класса ЕН на старте

остойчивости на максимальной скорости и возможность совершать повороты малого радиуса.

В табл. 3 перечислены классы моделей с электроприводами, соревнования которых предусмотрены Объединением судомоделизма и судомодельного спорта (НАВИГА) *.

Последующее описание конструкций этих моделей связано в основном с вопросами установки на них электроприводов. Для этого были выбраны модели, которые можно считать типичными в своих классах.

Самоходные модели

Модели классов ЕН (рис. 43 и 44), ЕК и ЕХ должны обла-

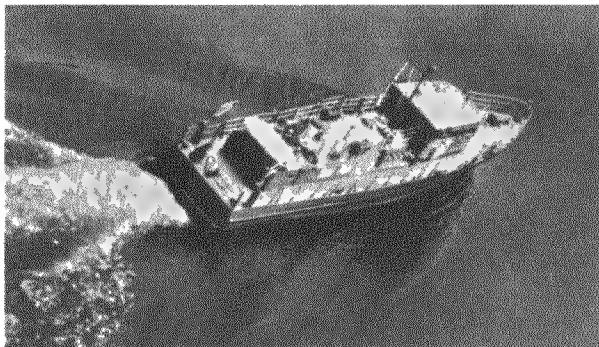


Рис. 44. Модель класса ЕН на дистанции

* Федерация судомодельного спорта СССР входит в НАВИГА с 1966 г. и проводит все внутренние соревнования по правилам НАВИГА. Поэтому все сведения о моделях кораблей и судов, а также о соревнованиях по судомодельному спорту, приводимые здесь, могут быть полностью использованы судомоделистами. (Прим. пер.)

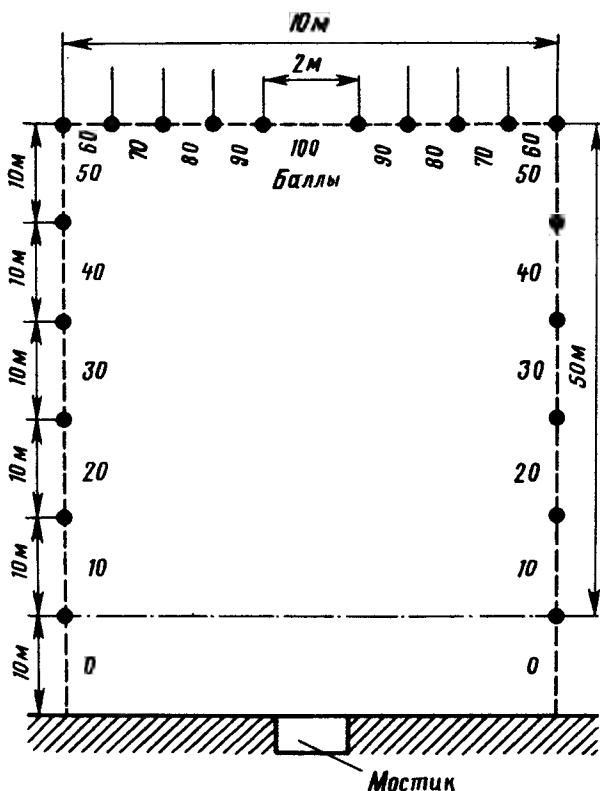


Рис. 45. Схема дистанции для соревнований моделей ЕН, ЕК и ЕХ. Штрих-пунктиром обозначена линия начала отсчета времени прохождения дистанции

дать плавучестью и иметь привод для их движения. В соревнованиях производится оценка качества их исполнения (стендовые соревнования), устойчивости на курсе и выдерживания масштабной скорости. Результаты выставляются в баллах. Во время стендовых соревнований судьи оценивают качество и масштабность изготовления моделей классов ЕН и ЕХ. Ходовые испытания моделей всех этих трех классов проводятся на специальной дистанции (рис. 45). При этом в идеальном случае модель должна пройти дистанцию с заданной масштабной скоростью и попасть в средние ворота на финише. Любые отклонения от этого штрафуются снижением оценок. Время прохождения дистанции, соответствующее масштабным скоростям для моделей классов ЕН и ЕК, приведено в табл. 4. Оно рассчитано по скорости прототипов в узлах.

Таблица 3

Классы моделей с электроприводами

Класс	Наименование моделей
	<i>Неуправляемые модели</i>
ЕН	Точные копии гражданских судов
ЕК	Точные копии военных кораблей
ЕХ	Свободно сконструированные модели
	<i>Управляемые модели</i>
F1-E1 кг	Свободно сконструированные модели с электродвигателями и гребными винтами (общая масса модели до 1 кг). Участвуют в соревнованиях на скорость на специальной трассе
F1-Есв.1 кг	Свободно сконструированные модели с электродвигателями и гребными винтами (общая масса модели свыше 1 кг). Участвуют в соревнованиях на скорость на специальной трассе
F2-A	Модели-копии длиной от 700 до 1100 мм. Участвуют в соревнованиях на прохождение фигурного курса
F2-B	Модели-копии длиной от 1100 до 1700 мм. Участвуют в соревнованиях на прохождение фигурного курса
F2-C	Модели-копии длиной от 1700 до 2500 мм. Участвуют в соревнованиях на прохождение фигурного курса
F3-E	Свободно сконструированные модели с гребными винтами. Участвуют в соревнованиях на прохождение фигурного курса
F6	Модели для группового маневрирования
F7	Модели для выполнения специальных функций

Таблица 4

Масштабная скорость для моделей классов ЕН и ЕК (дистанция 50 м)

Скорость прототипа, узлы	Время прохождения моделью дистанции, соответствующее масштабной скорости								
	1:10	1:15	1:20	1:25	1:50	1:75	1:100	1:150	1:200
От 0 до 12,0	30	40	45	50	70	85	95	120	140
От 12,1 до 16,0	20	30	30	35	50	60	70	85	95
От 16,1 до 20,0	16	20	25	25	35	45	50	65	75
От 20,1 до 24,0	14	16	20	20	30	40	45	55	60
От 24,1 до 30,0	12	14	16	18	25	30	35	45	50

Скорость прототипа, узлы	Время прохождения моделью дистанции, соответствующее масштабной скорости								
	1:10	1:15	1:20	1:25	1:50	1:75	1:100	1:150	1:200
От 30,1 до 34,0	10	12	14	16	20	25	30	35	35
От 34,1 до 38,0	8	10	12	14	18	20	25	30	35
От 38,1 до 42,0	8	10	10	12	16	20	25	30	35
От 42,1 и выше	7	8	10	10	14	18	20	25	30

Примечание. 1 узел равен 1,852 км/ч.

Управляемые модели

Радиоуправляемые модели классов F1, F2, F3 соревнуются на дистанциях, геометрию которых определяют буйки диаметром 100 мм, расположенные на акватории треугольником (рис. 46). Правилами соревнований для каждого класса предусмотрена своя схема маршрута на дистанции (направление движения и последовательность прохождения ворот).

Модели класса F1-E (рис. 47) являются глиссирующими и предназначены для прохождения скоростного курса (рис. 48). Их конструкцию моделист выбирает только из условий достижения максимальной скорости и наилучшей маневренности. Модель должна без опрокидывания проходить повороты небольшого радиуса. В соревнованиях оценивается лишь время прохождения маршрута. В качестве ориентировочных можно принять результаты, достигнутые на чемпионате Европы 1977 г.: Г. Калистратов (СССР) провел свою модель класса F1-E 1 кг по маршруту за 19,53 с, а Р. Бурманн (Великобритания) в классе F1-E свыше 1 кг достиг результата 17,78 с.

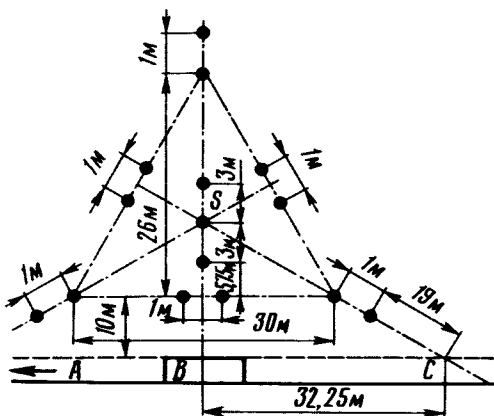


Рис. 46. Схема дистанции для соревнований моделей классов F1, F2 и F3

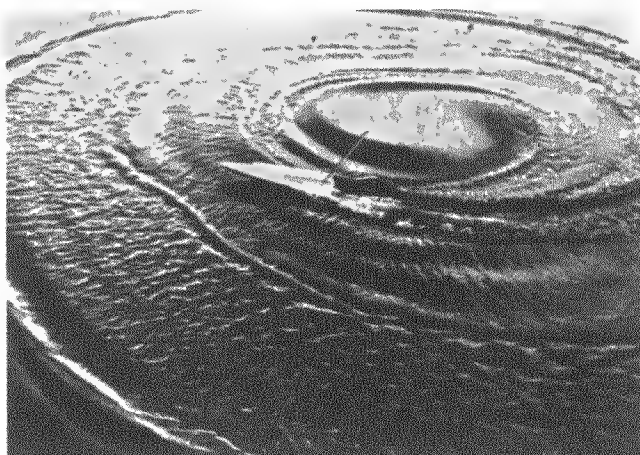


Рис. 47. Маневрирование модели класса F1-E1 кг

Очень похожи на эти модели, но еще более маневренны, глиссирующие модели класса F3-E (рис. 49); они способны поворачиваться почти на месте. Модели этого класса соревнуются в быстрейшем прохождении фигурного курса (рис. 50), который требует от спортсмена хорошего глазомера, высокой тренированности, а также предъявляют высокие требования к аппаратуре управления. Время и правильность прохождения маршрута оцениваются в баллах.

Совершенно иного типа модели классов F2-A, F2-B и F2-C. Здесь речь идет о копьях (рис. 51), воспроизводящих настоящие корабли и суда в миниатюре вплоть до мельчайших деталей.

Соревнования этих моделей предусматривают как ходовые испытания, так и стендовую оценку. Стендовая комиссия, как и в случае моделей классов ЕН и ЕК, оценивает в баллах качество и масштабность

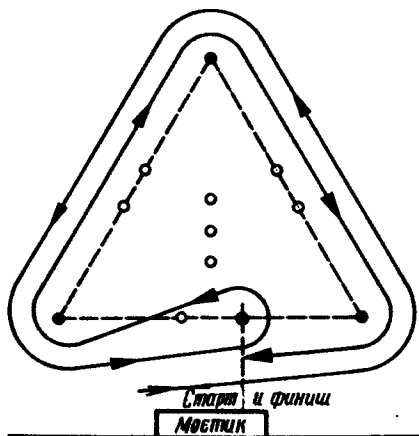
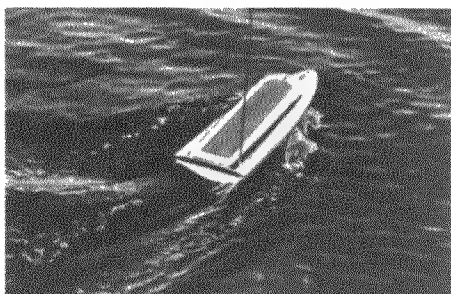


Рис. 48. Маршрут моделей скоростного фигурного курса (класс F1-E). Длина стороны треугольника, образуемого буйками, 30 м; диаметр буйков 100 мм

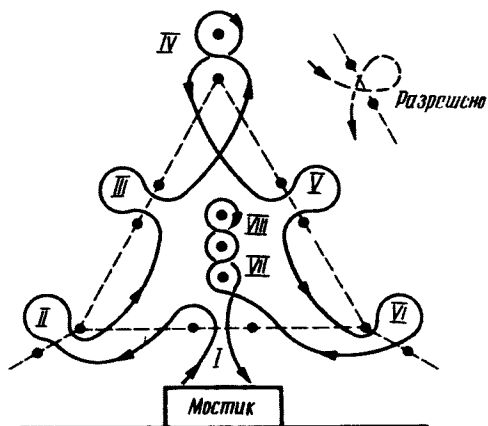
Рис. 49. Модель класса F3-E



постройки модели. Ходовые испытания проводятся на маршруте, предназначенном для соревнований моделей фигурного курса (рис. 52). По специальной таблице оцениваются точность прохождения ворот в заданной последовательности (рис. 53) и входа в док (рис. 54).

Модели класса F6 соревнуются в групповом маневрировании, причем управление ими производится несколькими спортсменами, каждый из которых имеет свой передатчик (рис. 55). К классу F7 относятся модели, предназначенные для выполнения специальных функций. В этом классе, как правило, выставляют модели классов F2-A, F2-B и F2-C, на которых устанавливают дополнительную аппаратуру для срабатывания по командам, например, сирены, рынды, громкоговорителя, подъемных устройств. Кроме того, возможно дистанционное управление запуском ракет, стрельбой пушек и торпедных аппаратов, срабатыванием гидромониторов, включением и выключением прожекторов, опусканием и подъемом якорей, шлюпок и т. д. Нередко один спортсмен управляет несколькими моделями. Для оценки результатов соревнований моделей классов F6 и F7 спортсмен

Рис. 50. Маршрут моделей фигурного курса (класс F3-E). Длина стороны треугольника, образуемого буйками, 30 м; ширина ворот на сторонах треугольника 1 м, в его центре 3 м; диаметр буйков 100 мм



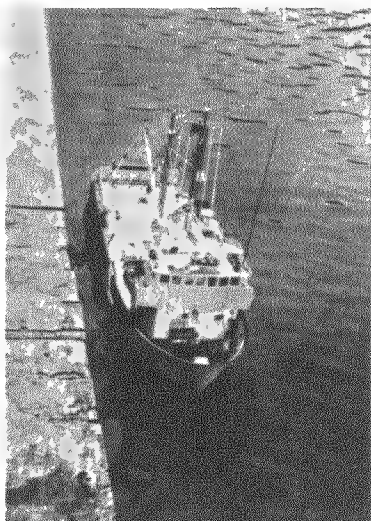


Рис. 51. Подготовка модели класса F2-A к старту

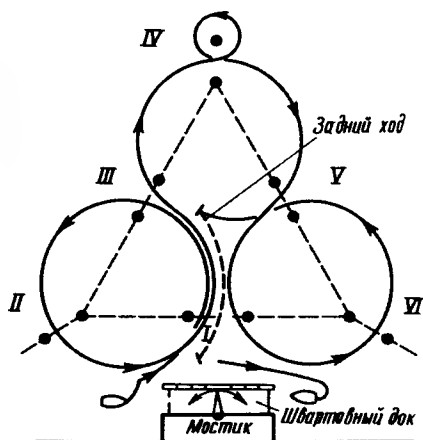


Рис. 52. Маршрут движений моделей класса F2

(или спортсмены) в письменном виде подает судейской коллегии описание программы маневрирования или срабатывания специальных функций. Судьи при оценке учитывают качество исполнения, соответствие программе, ее объем и трудность, а также содержание и общее впечатление от выступления.



3.1. Водоизмещающие модели

Если модель корабля или судна поставить на воду, то она вытеснит определенное количество воды. По закону Архимеда масса вытесненной воды точно равна массе модели. Модель плавает под воздействием

Рис. 53. Старт модели класса F2



Рис. 54. Модель класса F2-A при входе в док

гидростатической подъемной силы, при этом масса модели равна действующей со стороны воды силе поддержания. Однако, начиная с определенной скорости, становится заметным воздействие на модель гидродинамической подъемной силы, возрастающей при увеличении скорости. Величины обеих этих сил зависят от массы, размерений, формы и скорости модели. Модели, ходовые характеристики которых определяются в основном гидростатиче-



Рис. 55. Модели класса F6

ской подъемной силой, называются водоизмещающими. Их следует отличать от глиссирующих моделей, ходовые характеристики которых зависят главным образом от гидродинамических сил.

Рассмотрим подробнее силы, определяющие ходовые качества — ходкость модели. В зависимости от назначения ее движение по воде должно либо соответствовать движению прототипа, т. е. скорость должна быть масштабна, либо должно быть направлено на достижение максимальной скорости. В обоих случаях оптимальное решение может быть найдено только при знании физических закономерностей, которым подчиняется это движение.

Двигатель модели развивает упор F , который может быть измерен с помощью пружинного динамометра. Такие «швартовые испытания» позволяют сделать вывод об упоре двигателя модели при различных режимах работы двигателя. В процессе таких статических испытаний упор и сила удержания модели находятся в равновесии; при движении же модели упор уравновешивается равной ей по величине противодействующей силой. Противодействующая сила вызывается сопротивлением воды движению модели или гидродинамическим сопротивлением корпуса. Для самоходной модели гидродинамическое сопротивление состоит из сопротивления трения и волнового сопротивления:

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{волн}}, \quad (1)$$

где R — гидродинамическое сопротивление корпуса; $R_{\text{тр}}$ — сопротивление трения; $R_{\text{волн}}$ — волновое сопротивление.

Причиной сопротивления трения является вязкость воды. Кривая распределения скоростей воды вблизи поверхности корпуса (рис. 56) выявляет как бы течение воды слоями, причем эти

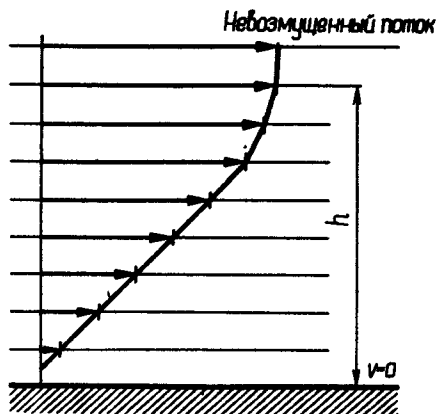


Рис. 56. Распределение скоростей в пограничном слое (h — толщина пограничного слоя)

слои имеют различные скорости. Слой, прилегающий непосредственно к корпусу, движется вместе с ним, т. е. имеет такую же скорость. Вследствие вязкости воды следующий слой движется уже медленнее. Такое падение скорости продолжается до тех пор, пока скорость внешнего слоя практически не станет равна нулю. Сопротивление движению модели, вызванное торможением слоя воды, «прилипшего» к поверхности корпуса, т. е. неподвижной массой воды, называется сопротивлением трения.

Область между корпусом и неподвижной массой воды в гидродинамике называется пограничным слоем. Как показали исследования, толщина пограничного слоя возрастает к корме и может достигать примерно 1—20 % длины ватерлинии. Так как вязкость воды представляет собой постоянную величину, а длины модели и ее прототипа различны (длина модели составляет примерно от 0,5 до 2,5 м, прототипа — до 100 м), это значение относительно. В соответствии с законами подобия отношение толщины пограничного слоя корпуса модели, смоченная поверхность которого невелика, к его длине больше, чем у корпуса прототипа. Сопротивление трения движущегося в воде тела определяется формулой

$$R_{\text{тр}} = c_w \frac{\rho}{2} v_M^2 A, \quad (2)$$

где $R_{\text{тр}}$ — сопротивление трения, Н; c_w — коэффициент трения; ρ — плотность воды, кг/м³; v_M — скорость движения модели, м/с; A — смоченная поверхность корпуса, м².

Как видно из уравнения (2), сопротивление трения возрастает с увеличением скорости пропорционально ее квадрату. Если, например, скорость движения модели увеличилась вдвое, то сопротивление трения возрастает в четыре раза; при ее увеличении в три раза сопротивление трения будет больше уже в девять раз и т. д. Следовательно, скорость движения плавающего тела нельзя увеличить беспредельно. Если в уравнение (2) подставить значение для плотности пресной воды, то получим:

$$R_{\text{тр}} = 51 c_w v_M^2 A. \quad (3)$$

Однако коэффициент трения c_w является не постоянной величиной, а изменяется в зависимости от скорости потока. До тех пор, пока частицы движутся параллельно друг другу, как это показано на рис. 55, их поток является ламинарным. При возрастании скорости движения частицы жидкости начинают совершать колебания, перпендикулярные направлению потока, вследствие чего толщина пограничного слоя увеличивается. Такой поток уже называется турбулентным (рис. 57). Но и при этом непосредственно на поверхности обтекаемого тела остается тонкий ламинарный слой.

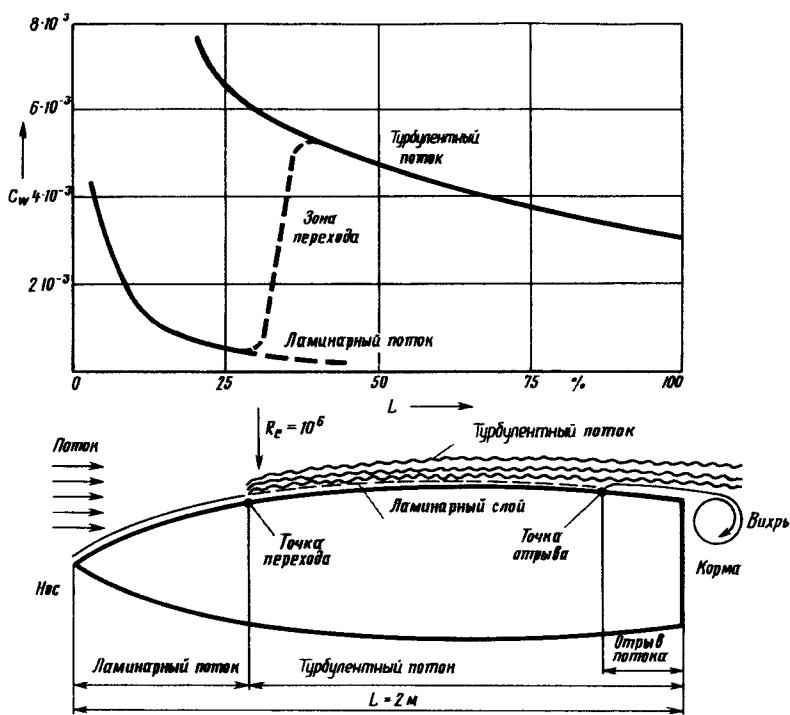


Рис. 57. Типы потоков, обтекающих корпус модели

При переходе ламинарного обтекания в турбулентное увеличение толщины пограничного слоя и энергии, расходуемой на соударения частиц в нем, приводит к повышению коэффициента трения. Положение точки на поверхности корпуса, в которой происходит переход ламинарного течения в турбулентное, зависит не только от скорости потока, но и от длины обтекаемой поверхности. Эта взаимосвязь определяется экспериментально для каждого случая потока (тип среды, качество обработки поверхности и т. д.) и называется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_M L}{\nu}, \quad (4)$$

где Re — число Рейнольдса; v_M — скорость модели, м/с; L — длина смоченной поверхности, м; ν — кинематическая вязкость воды, м²/с.

Для пресной воды это выражение принимает вид:

$$Re = \frac{v_M L}{0,116} 10^5. \quad (5)$$

Критическое число Рейнольдса, при котором ламинарный поток переходит в турбулентный, для тела в свободной воде находится в пределах от $5 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^6$. Точное же его значение в каждом конкретном случае зависит от формы и шероховатости обтекаемой поверхности. Поскольку у моделей кораблей и судов днищевая поверхность обрабатывается очень тщательно, для них можно принять $Re = 1 \cdot 10^6$.

Значение числа Рейнольдса можно проиллюстрировать на следующем примере. Пусть модель, схема которой показана на рис. 57, движется со скоростью $v_m = 2$ м/с. Тогда, в соответствии с уравнением (5), ламинарный поток переходит в турбулентный на расстоянии

$$L = \frac{1 \cdot 10^6 \cdot 0,116}{2 \cdot 10^5} \approx 0,55 \text{ м}$$

от носа. При этом коэффициент трения скачкообразно возрастает с $c_w < 1 \cdot 10^{-3}$ до $c_w > 6 \cdot 10^{-3}$, т. е. больше чем в шесть раз. Если скорость модели увеличить вдвое, то турбулентное течение возникнет уже на расстоянии 0,27 м от носа. Если же, наоборот, скорость модели снизить вдвое, то почти $\frac{2}{3}$ корпуса будут обтекаться ламинарным потоком; при ее снижении в четыре раза ламинарное обтекание будет наблюдаться почти вдоль всего корпуса, вплоть до срыва потока в корме с образованием вихря.

Положение точки в кормовой части корпуса, где поток срывается и образуются вихри, также зависит от скорости модели и формы обводов корпуса. Вихреобразование приводит к появлению дополнительной составляющей сопротивления — вихревого сопротивления, которое, однако, можно значительно снизить, придав корпусу плавные хорошо обтекаемые обводы.

Из всего сказанного выше ясны причины образования сопротивления трения на модели корабля или судна, а также роль, которую оно играет. Речь здесь шла о «скрытой» составляющей гидродинамического сопротивления. А вот волны, поднимаемые

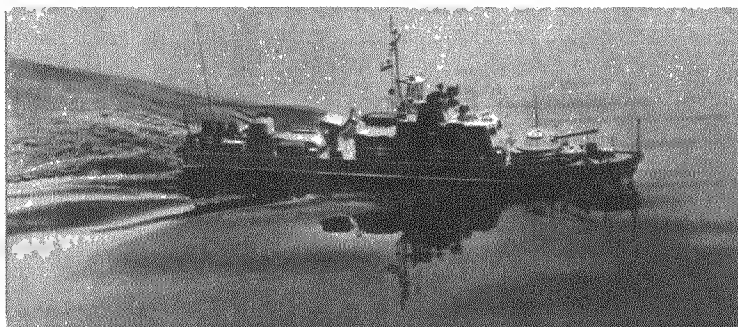


Рис. 58. Волны, вызываемые движением модели

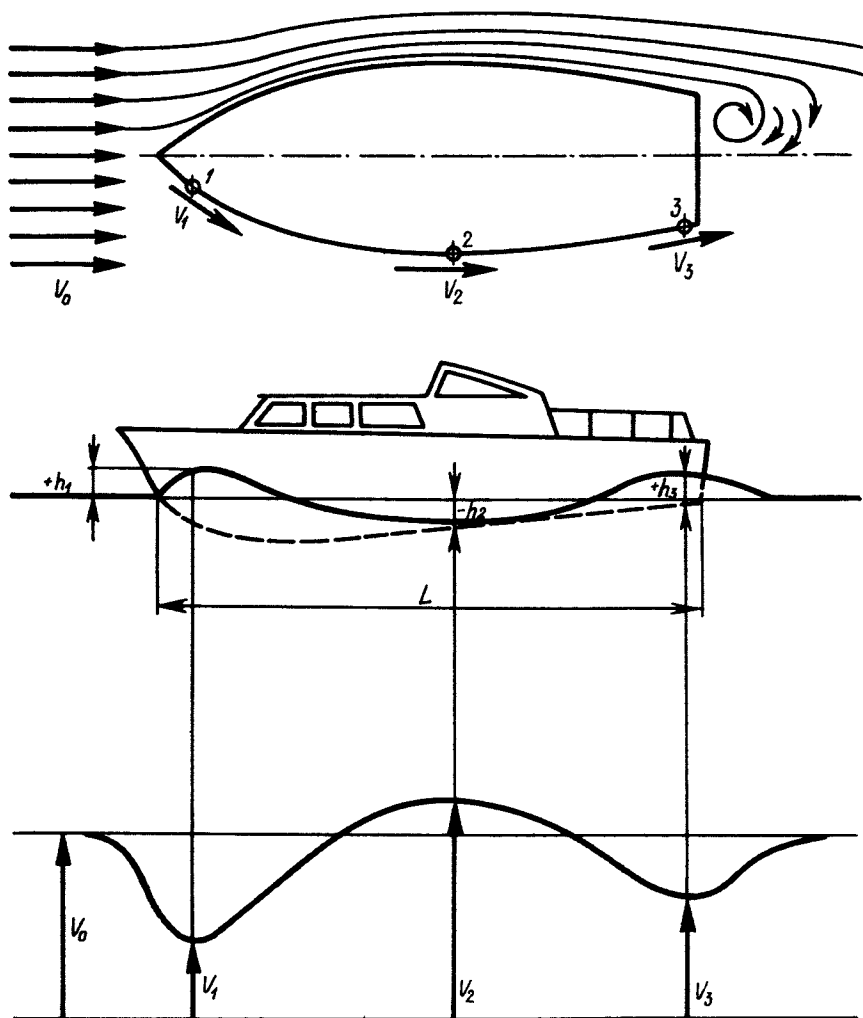


Рис. 59. Образование волн движущейся моделью

движущейся моделью, видны сразу. Когда модель идет по спокойной воде, образуется типичная система волн, которая не зависит ни от типа модели, ни от ее скорости (рис. 58).

Вначале следует пояснить механизм возникновения волн. Пусть модель идет со скоростью v_0 при достаточной глубине воды. «Достаточная глубина» здесь означает, что глубина воды больше длины волны λ . Вода обтекает модель (рис. 59). У носовой оконечности (точка 1) частицы воды сначала затормажив-

ваются, т. е. $v_1 < v_0$. Здесь возникает повышенное давление, приводящее к формированию вершины носовой волны. Закон Бернулли, записываемый в виде уравнения

$$p + \frac{\rho}{2} v^2 = \text{const}, \quad (6)$$

позволяет рассчитать энергию, требуемую для образования этой волны. Она равна

$$\gamma h_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = \text{const}, \quad (7)$$

где γ —удельный вес воды, Н/м³; ρ —плотность воды, кг/м³; v_1 —скорость потока в точке 1, м/с; h_1 —высота волны в точке 1, м.

Далее частицы воды движутся вдоль борта модели. Так как поперечное сечение корпуса увеличивается вплоть до точки 2, частицы, расположенные вблизи корпуса, должны проходить более длинный путь, чем сама модель, а значит, двигаться быстрее ее ($v_2 > v_0$). Наибольшую скорость частицы воды приобретают в точке 2. Давление в этой области падает, в результате чего уровень воды опускается, образуя подошву волны. В соответствии с законом сохранения энергии количество энергии, требуемое для создания вершины и подошвы волны, должно быть равно:

$$\gamma h_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = \gamma h_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2. \quad (8)$$

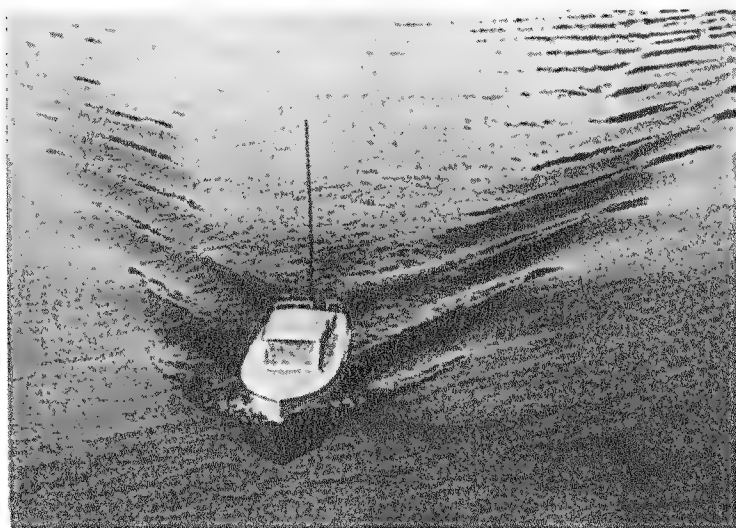


Рис. 60. Системы волн, образуемых движущейся моделью

После прохождения самого широкого поперечного сечения корпуса скорость частицы воды снова замедляется, в результате чего образуется кормовая волна. Таким образом, движущаяся модель образует две группы волн — носовую и кормовую. Интенсивность волн зависит от скорости потока и объема вытесненной воды. Как правило, носовая волна выражена заметнее, чем кормовая. Кроме того, вихреобразование в кормовой оконечности противодействует образованию волн.

Система волн, поднимаемых движущейся моделью (рис. 60), имеет типичную форму. Эта система состоит из волн двух типов — расходящихся и поперечных (рис. 61). Волны обоих типов постоянно образуются в носовой и кормовой оконечностях модели и движутся вместе с ней. Расходящиеся волны образуют с диаметральной плоскостью модели угол около 20° ; они распространяются независимо и не накладываются друг на друга.

Поперечные волны расположены перпендикулярно диамет-

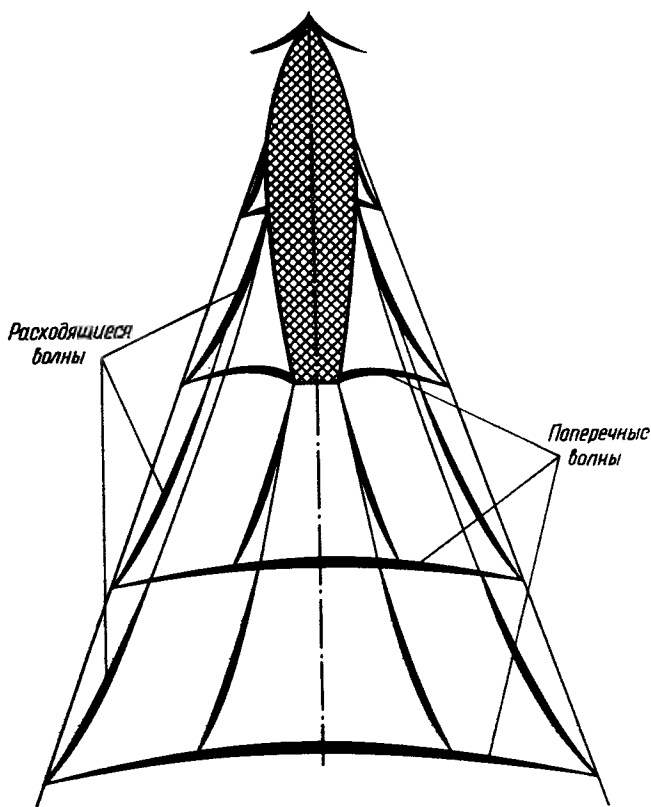


Рис. 61. Группы расходящихся и поперечных волн

ральной плоскости модели и распространяются в пространстве, ограниченном расходящимися волнами. Длина поперечных волн зависит от скорости модели. Они могут накладываться друг на друга и, следовательно, оказывать влияние на волновое сопротивление. Их длина рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{2\pi}{g} v_M^2, \quad (9)$$

где λ — длина волны, м; g — ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; v_M — скорость модели, м/с.

После подстановки значений постоянных величин получим:

$$\lambda = 0,64 v_M^2. \quad (10)$$

С помощью этого уравнения для любой скорости модели можно рассчитать соответствующую длину поперечных волн. В табл. 5 приведены длины волн для некоторых скоростей модели.

Таблица 5
Длины поперечных волн λ
для некоторых скоростей
модели v_M

$v_M, \text{ м/с}$	$\lambda, \text{ м}$
0,5	0,16
1	0,64
1,5	1,44
2	2,56
2,5	4,0
3	5,76
3,5	7,84
4	10,24

Пусть, например, модель класса F2-B длиной 1,5 м (по ватерлинии) идет со скоростью $v_M = 0,5 \text{ м/с}$. Тогда вдоль ее корпуса образуются девять ($1,5 \text{ м} / 0,16 \text{ м} = 9,39$) поперечных волн. При скорости $v_M = 1 \text{ м/с}$ вдоль корпуса уложатся только две, а при скорости $v_M = 1,5 \text{ м/с}$ — только одна поперечная волна.

Взаимосвязь между длиной волны, скоростью и длиной модели определяет в основном ходкость модели. Эта зависимость, называемая числом Фруда, имеет следующий вид:

$$Fr = \frac{v_M}{\sqrt{gL}}, \quad (11)$$

где Fr — число Фруда; v_M — скорость модели, м/с; L — длина модели по ватерлинии, м; g — ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$.

Если в этом уравнении исключить постоянный коэффициент

g , то получим параметр, используемый для подсчета результатов модельных испытаний на натуре и имеющий вид $v_M/\sqrt{L}$. Это отношение является основой закона подобия Фруда, выражаемого уравнением (11). В соответствии с ним для геометрически подобных модели и натуре отношения волнового сопротивления и водоизмещения равны, если равны отношения $v_M/\sqrt{L}$. Этот закон положен в основу всех модельных испытаний в судостроении. Кроме того, отношение $v_M/\sqrt{L}$ позволяет определить картину волнообразования на модели в виде числа волн, укладываемых вдоль корпуса модели. Оценочные значения этих чисел приведены в табл. 6.

Таблица 6

Число волн, укладываемых на длине модели L в зависимости от ее скорости v_M

$v_M/\sqrt{L}$	Число волн
0,6	5
0,95	2
1,34	1

Волновое сопротивление зависит не только от формы обводов корпуса, но также от высоты и длины образуемых волн, причем энергия волны, а следовательно, и энергия, требуемая для ее образования, про-

порциональна квадрату ее высоты. Поэтому для снижения волнового сопротивления важно, чтобы высота образуемых моделью волн была минимальной.

На рис. 62 наглядно показано, как в зависимости от числа укладываемых вдоль корпуса волн изменяется их высота, а значит, и энергия, затрачиваемая двигателем при движении модели. При этом наблюдается интерференция (сложение) носовой и кормовой групп поперечных волн. Эти волны зарождаются всегда примерно в одних и тех же местах независимо от скорости модели: гребень первой поперечной волны носовой группы расположен несколько сзади форштевня, а гребень первой поперечной волны кормовой группы — несколько впереди ахтерштевня. При изменении числа волн, образующихся вдоль корпуса модели, т. е. при изменении их длины, волны обеих групп различным образом интерферируют друг с другом. Например, в том случае, когда $L=2\lambda$ (см. рис. 62, вверху), на гребень первой кормовой волны накладывается впадина второй носовой волны, в результате высота результирующей волны уменьшается и интенсивность волнообразования падает. Наложение обеих групп волн может приводить и к увеличению высоты результирующей волны, а значит, и волнового сопротивления (см. рис. 62, в центре и внизу). Изменение соотношения сопротивлений различного типа при увеличении скорости модели можно видеть из графика на рис. 63.

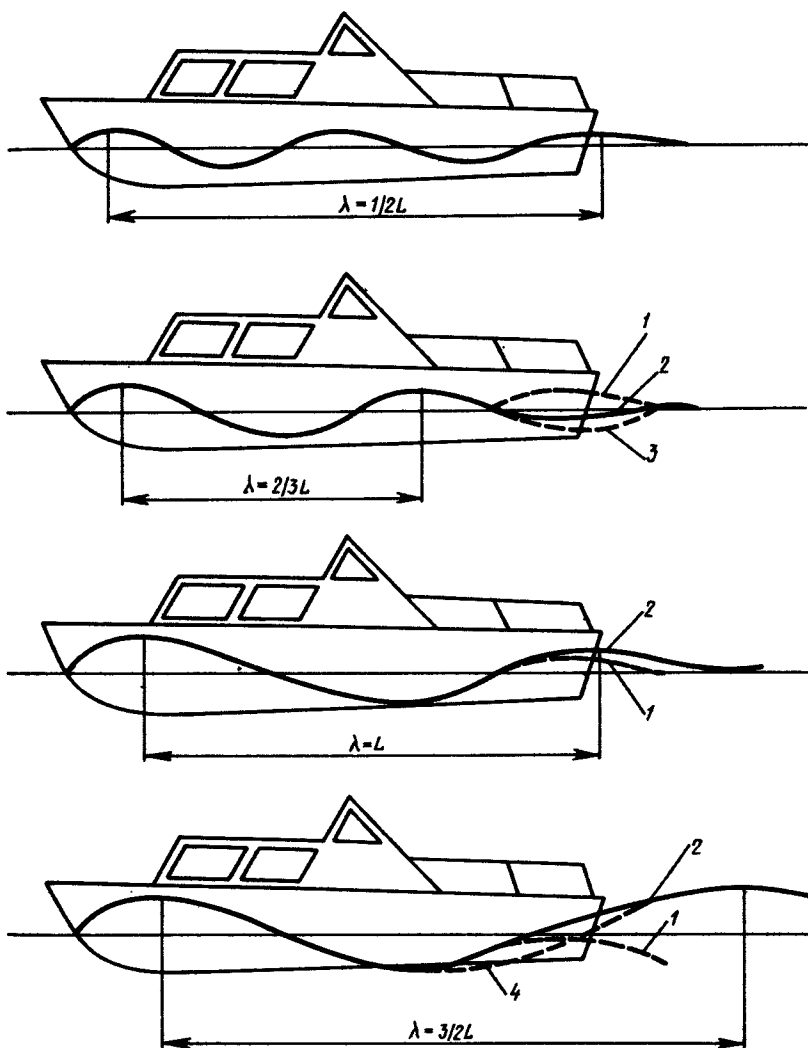


Рис. 62. Изменение геометрии волн при изменении скорости моделл:
 1 — кормовая волна; 2 — результирующая; 3 — впадина второй носовой волны; 4 — впадина первой носовой волны

В заключение можно сказать, что для водоизмещающих моделл, имеющих большую осадку, повышение скорости выше значений $v_M/\sqrt{L}=1$ нецелесообразно: практически вся дополнительная мощность уйдет на образование волн, а увеличения скорости при этом почти не будет. Поднятые моделью поперечные волны становятся тормозом, который она не может «сбросить».

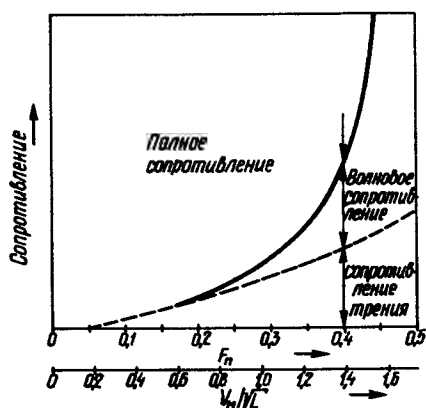


Рис. 63. Изменение сопротивления воды движению модели в зависимости от отношения $v_m/\sqrt{L}$

Все сказанное выше полезно знать модельистам, а судостроителям, используя эти закономерности, снижают расход топлива при сохранении той же скорости судна. Конечно, волновое со-

противление можно снизить, уменьшая скорость, но время в пути является одним из параметров рентабельности для торговых судов, а для боевых кораблей скорость — одна из важнейших тактико-технических характеристик. Поэтому судостроители постоянно ищут формы обводов, обеспечивающие снижение волнового сопротивления. Одной из таких форм является бульб—носовая наделка, показанная на рис. 64. Эта наделка создает дополнительную волну, накладывающуюся на группу носовых поперечных волн так, что их гребни и впадины складываются, т. е. энергия результирующей системы волн уменьшается. Получаемая при этом экономия мощности главных двигателей может достигать 20 % при сохранении скорости судна неизменной. Форма бульба зависит от обводов корпуса, назначения судна, его требуемой маневренности и т. д. Использование его на модели может также обеспечить снижение требуемой мощности двигателя.



Рис. 64. Бульб в носовой оконечности водонизмещающей модели

Еще одним способом снижения волнового сопротивления является увеличение длины корпуса. Тогда при той же скорости вдоль корпуса образуется большее число волн меньшей высоты. Волнообразование при этом требует меньшей энергии, чем в случае более короткого корпуса. Увеличение же осадки, наоборот, повышает сопротивление: более глубоко сидящая модель гонит более высокие волны. Для оценки сопротивления воды движению водоизмещающих судов, а также их моделей используют относительное водоизмещение

$$\frac{\Lambda}{(L/10)^3},$$

где Λ — водоизмещение, т; L — длина ватерлинии, м.

Приводы для водоизмещающих судов и их моделей, называемые в судостроении пропульсивными устройствами, имеют самые разнообразные формы. Наиболее старыми из этих устройств преобразования энергии двигателя в энергию движения судна являются колесные движители.

Гребные колеса еще и сейчас используются на речных судах (рис. 65). Такие суда представляют собой прекрасный объект для постройки моделей, так как их конструкция может быть повторена до мельчайших деталей. Привод гребных колес на модели может быть осуществлен даже с помощью небольшой паровой машины. Однако, чтобы использовать преимущества электродвигателя на моделях колесных судов, наиболее богатые на выдумку моделисты устанавливают на них устройства для имитации шума паровой машины и даже устройства для получения дыма, выпускаемого через дымовую трубу. Преимущества колесного движителя проявляются на судах (и моделях) с малой осадкой и малой скоростью хода. Чаще всего колеса располагаются по бортам (рис. 66), на более старых пароходах они устанавливались в корме (рис. 67).

Чтобы КПД не был слишком низким, колесо должно быть достаточно заглублено, а развиваемое им усилие иметь направление, возможно более близкое направлению движения судна. Но плыцы, жестко закрепленные на колесе, естественно, движутся по



Рис. 65. Колесный пароход на реке

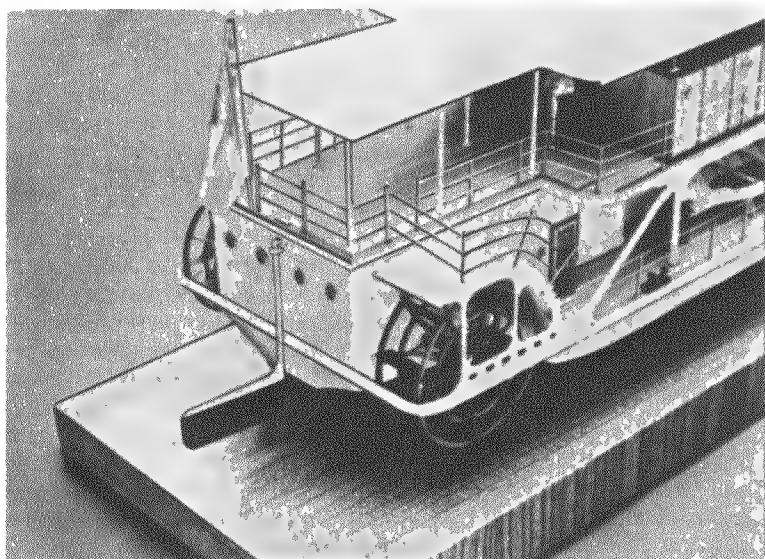


Рис. 67. Кормовое расположение гребных колес

окружности, поэтому при входе каждой плицы в воду и выходе ее из воды появляются нежелательные вертикальные составляющие силы (рис. 68, *а*). Вызываемые этим потери мощности могут быть в значительной мере снижены при установке эксцентрикового механизма поворота плиц. В колесе с таким механизмом

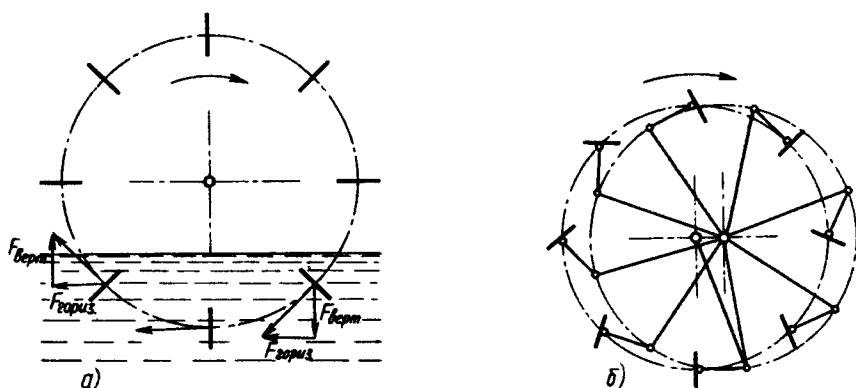


Рис. 68. Силы, действующие на плицы гребного колеса:
а — жестко закрепленные плицы; *б* — плицы с механизмом поворота

плицы в течение всего времени движения их в воде сохраняют положение, близкое к вертикальному (рис. 68, б). Детали конструкции такого гребного колеса показаны на рис. 69.

Уже в 19 в. наиболее распространенным движителем для небольших судов, например баркасов и буксиров, а во многих случаях и для больших морских судов, стал гребной винт. Для удобства управления на крупных судах ставят винты регулируемого шага.

На таких судах, как буксиры, рыболовные траулеры, где требуется большое тяговое усилие при относительно небольшой скорости хода, винт устанавливается в кольцеобразной насадке (рис. 70), которую по имени изобретателя иногда называют насадкой Корта. Действие насадки проявляется в основном на малых скоростях и выражается в повышении тягового усилия по сравнению с винтом без насадки. На швартовных испытаниях, например, когда тяга замеряется на швартовах, удерживающих судно у причала, насадка повышает тягу примерно на 50 %. Если насадка делается поворотной, то она одновременно играет роль руля, в результате чего повышается маневренность судна. Кроме того, насадка в определенной мере защищает винт от льдин, деревянных предметов и т. п.

Разновидностью судового движительного устройства является винторулевая колонка, отличающаяся Z-образной передачей крутящего момента на винт. Такие колонки применяются главным образом на буксирах, чаще всего на портовых (рис. 71). Одна или две колонки устанавливаются в районе миделева сечения судна и могут поворачиваться вокруг вертикальной оси на 360 или 180°. Модель с винторулевой колонкой обладает такой же маневренностью, как и настоящее судно. Ее использование позволяет не только буксировать другие суда или модели, как

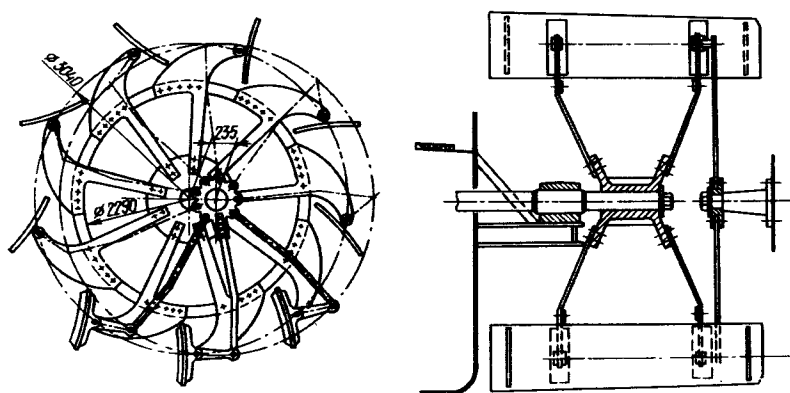


Рис. 69. Конструкция гребного колеса с механизмом поворота плиц

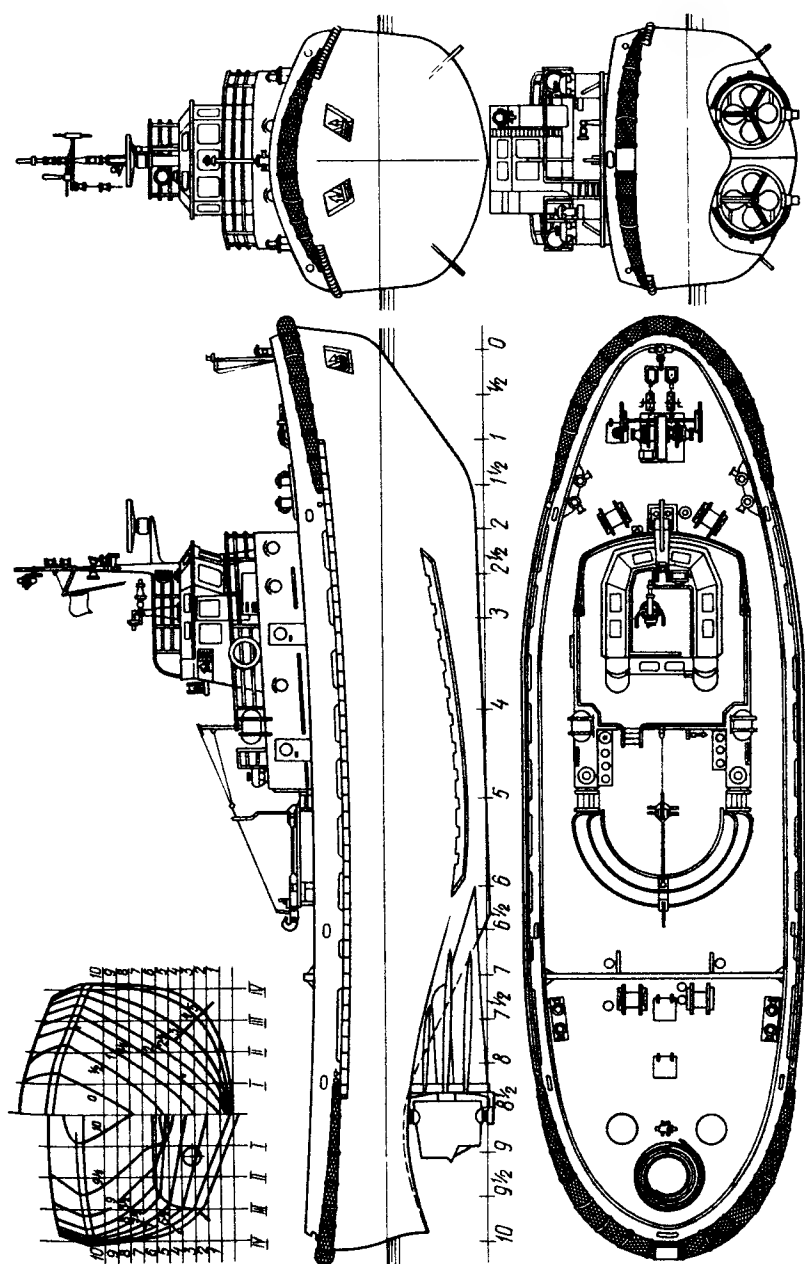
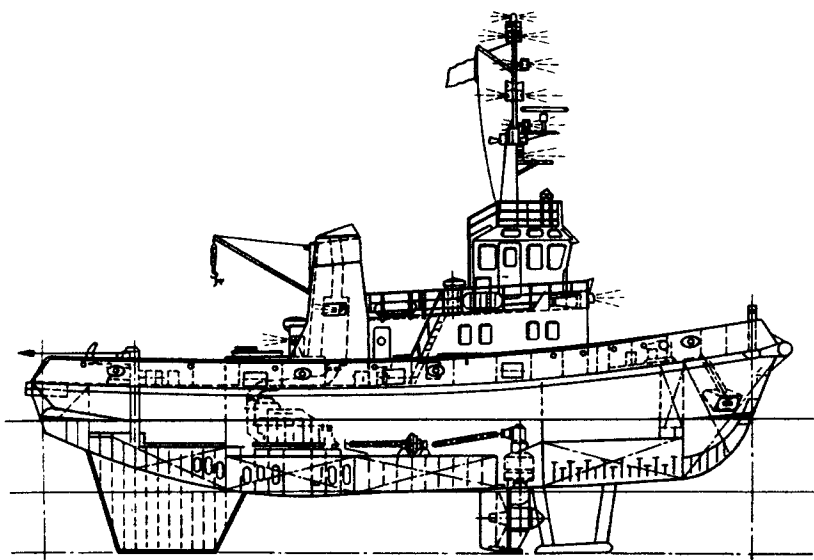
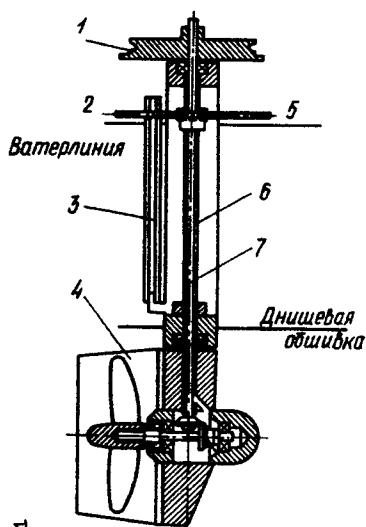


Рис. 70. Портовый буксир с винтами в насадках



а)



б)

Рис. 71. Винторулевая колонка:

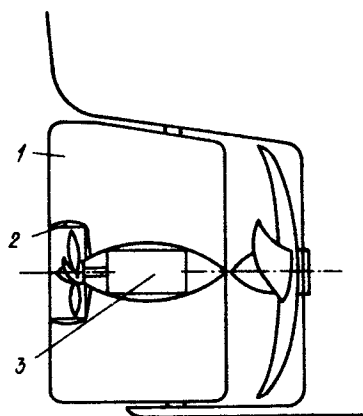
а — установка колонки на буксире;
б — устройство колонки; 1 — шкив
ременной передачи крутящего мо-
мента на винт; 2 — рычаги поворота
колонки вокруг вертикальной оси;
3 — трубка для контроля уровня
масла; 4 — насадка; 5 — шкив пово-
рота колонки; 6 — дейдвудная тру-
ба; 7 — вал передачи крутящего мо-
мента на винт

обычно, с помощью буксирного троса, но и толкать их носом или даже бортом.

Количество винтов на модели определяется тем, сколько винтов имеет копируемое судно-прототип. Часто их число определяется объемом помещений в корпусе судна, который может быть выделен для прокладки туннелей гребных валов и размещения машинного отделения. По несколько гребных винтов

Рис. 72. Активный руль:

1 — перо руля; 2 — винт в насадке; 3 — вспомогательный двигатель в кожухе обтекаемой формы



ставят сейчас на речных судах. Это вызвано требованием снижения осадки, уменьшения разрушения речного дна и т. д. Больше одного винта имеют, как правило, боевые корабли.

Выбор числа винтов облегчат моделистам следующие две рекомендации:

полный КПД одновинтового движительного устройства выше, чем у многвинтового, но лишь при условии, что все их параметры оптимальны;

многовинтовые модели более устойчивы на курсе, но при соответствующих обводах корпуса, правильном дифференте, а также отсутствии несимметричности корпуса и винтовых движителей. Особый интерес это представляет для моделей класса Е.

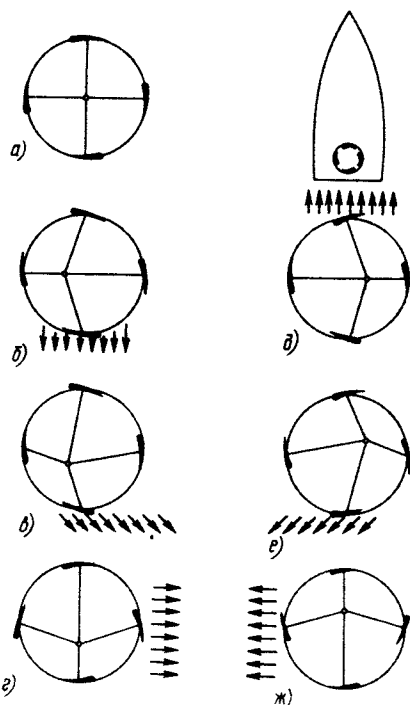


Рис. 73. Принцип действия крыльчатого движителя:

а — стоп; б — вперед; в — вперед и вправо; г — движение левым бортом; д — назад; е — вперед и влево; ж — движение правым бортом; з — движение левым бортом

За каждым винтом, как правило, ставится руль, так как его действие наиболее эффективно именно в спутной струе винта. Однако существует конструкция, в которой оба эти элемента объединены; правда, основной винт остается впереди руля, выполняя свои функции по обеспечению движения судна. На задней же кромке руля ставится вспомогательный винт в насадке, привод которого обеспечивает специальный двигатель, установленный в утолщении пера руля. Такой руль, называемый активным, повышает маневренность судна на малых скоростях хода и даже при неработающем основном винте (рис. 72).

Иногда для таких плавучих средств, как буксиры, плавучие краны, рабочие катера и пассажирские суда, необходима очень высокая маневренность на малых скоростях хода. Она может быть получена с помощью винторулевой колонки. Однако существует другой, более старый движитель, также обеспечивающий высокие маневренные свойства,—крыльчатый (рис. 73). Он со-

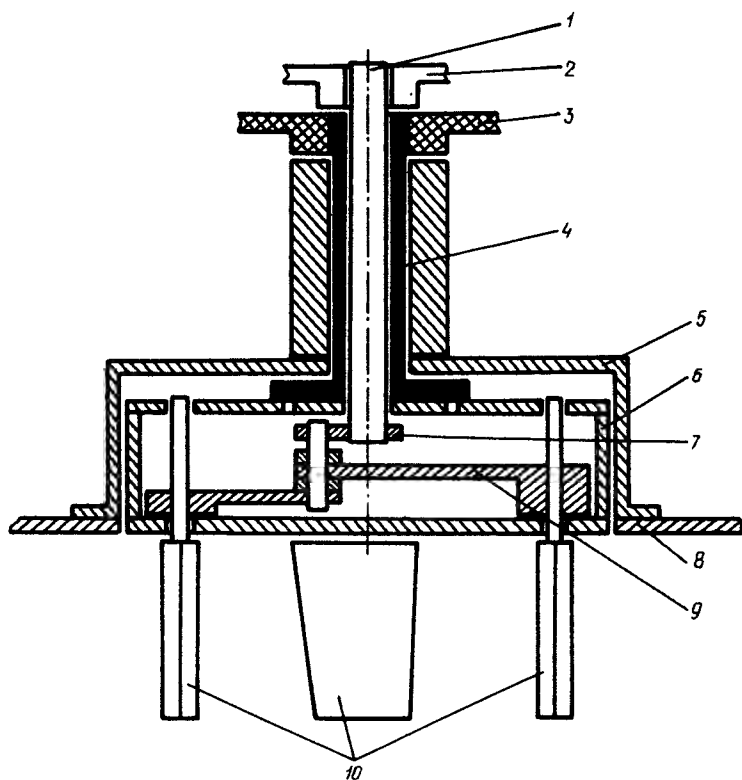


Рис. 74. Механизм поворота лопастей крыльчатого движителя:

1 — вал эксцентрика; 2 — шкив для передачи управляющего усилия на вал 1; 3 — шкив передачи крутящего момента на цилиндр 6; 4 — полный вал; 5 — корпус; 6 — цилиндр; 7 — эксцентрик; 8 — днище корпуса модели; 9 — управляющий рычаг; 10 — лопасти

стоит из нескольких крыльевидных лопастей, расположенных вертикально под днищем судна и движущихся по окружности в горизонтальной плоскости. Величина и направление упора, развиваемого этими лопастями, определяются углом их установки относительно касательной к траектории их движения, а также частотой вращения лопастей.

Изготовление действующей модели крыльчатого движителя представляет определенные трудности. Это объясняется прежде всего сложностью механизма поворота лопастей, который в большинстве случаев выполняется эксцентриковым (рис. 74). В водонепроницаемом корпусе вращается цилиндр, в котором на подшипниках закреплены лопасти, чаще всего четыре. Крутящий момент от шкива, связанного с двигателем, передается на цилиндр через полый вал. Если этот вал и окружающая его труба с подшипниками для него подняты над ватерлинией, то отпадает необходимость в их герметизации. Во время вращения цилиндра угловое положение лопастей в каждый момент определяется положением эксцентрика. Управляющие рычаги могут быть выполнены двухзвенными (рис. 75, а) или однозвенными, но вилкообразными (рис. 75, б). Все элементы крыльчатого движителя изготовляют из материалов, не поддающихся коррозии. При этом, если управляющие рычаги сделаны из пластмассы, например из полистирола, полиэтилена или поливинилхлорида, то в качестве смазочного средства можно использовать воду. Все шарнирные элементы движителя должны быть выполнены очень тщательно, так как от этого в большой мере зависит величина его КПД.

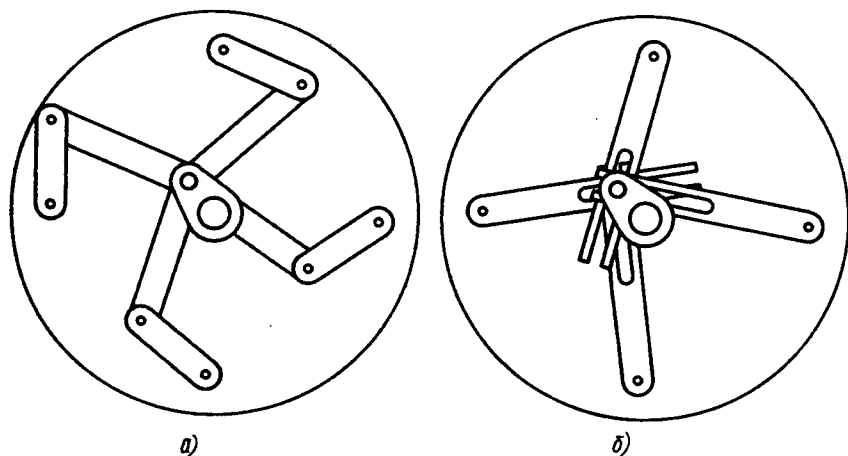


Рис. 75. Расположение управляющих рычагов механизма поворота в крыльчатом движителе

3.2. Глиссирующие модели

Типичными глиссирующими моделями являются модели классов F1-E и F3-E (рис. 47, 49, 76). Правилами соревнований предусмотрены требования, предъявляемые к их приводу. Глиссирующими могут быть сделаны также модели быстроходных моторных яхт (рис. 77) и быстроходных боевых кораблей (рис. 78). Однако сначала следует пояснить основные положения гидродинамики глиссирующих судов, что позволит сознательно выбирать параметры приводов для них.

У моделей, описанных выше, статическая сила поддержания, обеспечивающая их плавучесть, равна массе модели. При этом массу и форму корпуса выбирают с таким расчетом, чтобы гидродинамическая составляющая силы поддержания была настолько мала по сравнению со статической, что ею можно пренебречь. Этот режим принято называть плаванием. Однако при определенных параметрах движения эта составляющая начинает играть главную роль в отношении положения модели на ходу. При соотношении $F : m = 1 : 10$ (F — упор движителя, m — масса модели) модель с плоской днищевой поверхностью получает способность всходить на собственную носовую волну (рис. 79). Благодаря выходу из воды при возрастании скорости носовой и средней частей корпуса гидродинамическое сопротивление воды значительно падает (рис. 80). Модель как бы скользит по воде — глиссирует, в результате чего снижаются сопротивление трения (благодаря уменьшению смоченной поверхности корпуса) и волновое сопротивление (так как образуется практически только одна поперечная волна небольшой высоты).

На полном ходу глиссирующая модель касается воды только кормовой поверхностью днища, примерно третьей частью его площади (см. рис. 76). Между режимами плавания (который называют также режимом водоизмещающего судна) и глиссирования модели существует широкая область переходных режимов. При увеличении отношения скорости к длине судна нос вначале

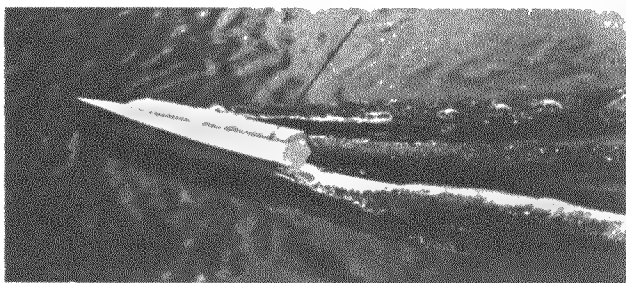


Рис. 76. Модель класса F1-E1 кг на полном ходу



Рис. 77. Модель быстроходной моторной яхты

поднимается из воды, но при этом средняя и особенно кормовая части корпуса опускаются в воду (рис. 81). Для водоизмещающих моделей волновое сопротивление достигает граничного значения при $v_m/\sqrt{L}$ от 1,3 до 1,5. Под действием гидродинамической подъемной силы вначале из воды выходит нос, а затем и средняя часть корпуса модели. Этот режим называется переходным. Разница между глиссированием и переходным режимом видна при сравнении рис. 82 и 83 (на рис. 79 модель изображена также в переходном режиме).



Рис. 78. Модель глиссирующего катера

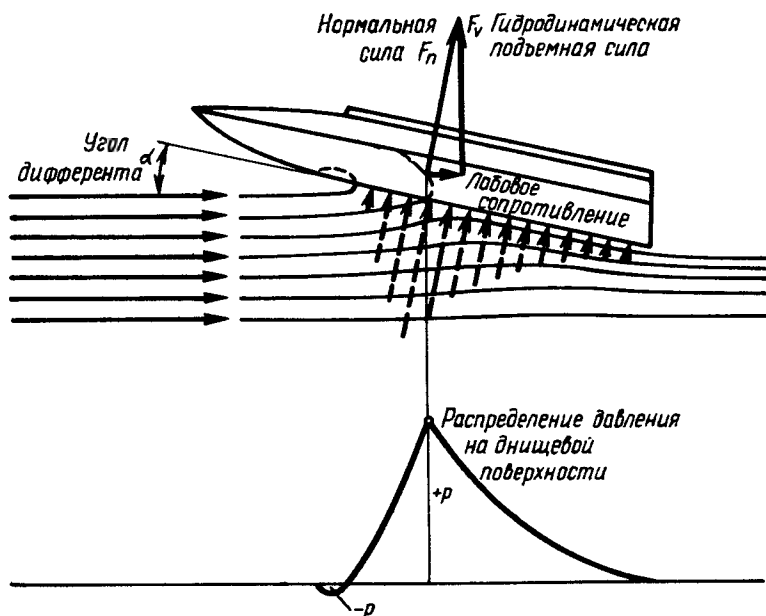


Рис. 79. Образование гидродинамической подъемной силы

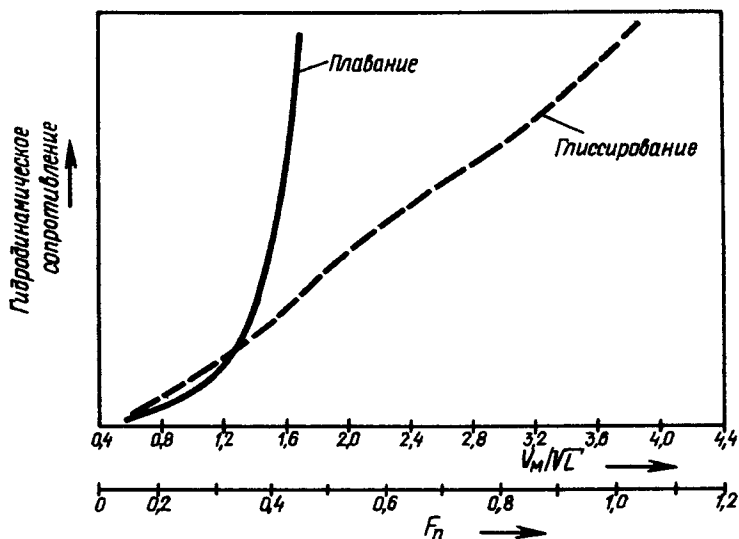


Рис. 80. Изменение гидродинамического сопротивления при глиссировании

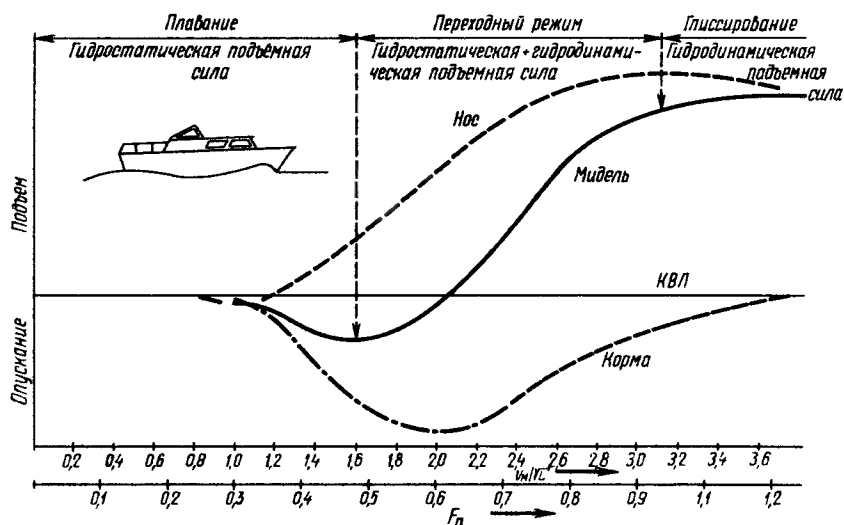


Рис. 81. Режимы движения модели

Указанные на рис. 81 области «Плавание», «Переходный режим» и «Глиссирование» в зависимости от значения $v_m/\sqrt{L}$ справедливы только для конкретной модели. Момент начала скольжения зависит в основном от значения относительного водоизмещения и формы обводов. Анализ кривых (см. рис. 81) позволяет сформулировать два требования к глиссирующим моделям:

модель должна быть максимально легкой, ее удлинение — достаточно большим. Однако необходимо искать компромисс между формами ее обводов, оптимальными для хода на прямом курсе и на поворотах. В первом случае модель должна быть длинной и узкой, во втором — короткой и широкой;

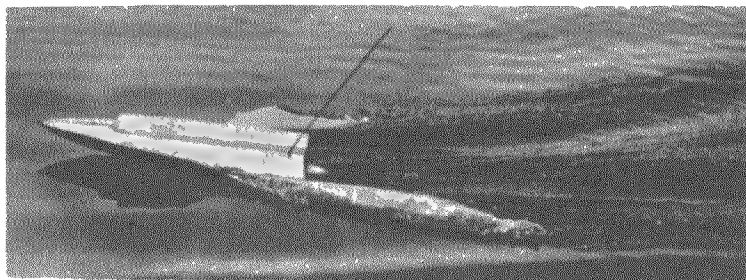


Рис. 82. При полной мощности модель скользит по воде примерно на кормовой трети днищевой поверхности

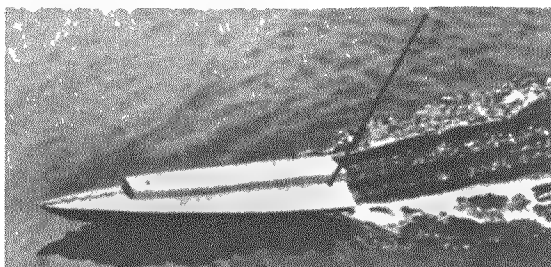


Рис. 83. При сниженной мощности модель движется в переходном режиме

обводы корпуса должны способствовать созданию гидродинамической подъемной силы при высокой скорости хода модели. Для устойчивости хода по прямой при слабом волнении шпангоуты должны иметь выраженную V-образную форму. В то же время для обеспечения хорошей маневренности и глиссирования днище должно быть плоским или слабо скругленным. При разработке глиссирующих судов приходится идти на компромисс, выбирая среднее между этими противоречащими друг другу условиями. Корпуса этих судов отличаются малым отношением длины к ширине (L/B) и малой осадкой, V-образной формой днища в носовой оконечности (для обеспечения остойчивости на волнении) и плоским днищем в кормовой оконечности, резко оканчивающимся широким транцем, реданами и плавниками на днище для повышения устойчивости на курсе.

Глиссирующие модели сохраняют остойчивость, двигаясь с большой скоростью по спокойной воде. Гидродинамическое совершенство модели можно оценить с помощью коэффициента ε , обратного коэффициенту гидродинамического качества:

$$\varepsilon = \frac{F_{\text{сопр}}}{F_{\text{подъем}}}, \quad (12)$$

где $F_{\text{сопр}}$ — гидродинамическое сопротивление, $F_{\text{подъем}}$ — гидродинамическая подъемная сила.

Чем меньше коэффициент ε , тем выше скорость модели при той же мощности привода.

Ниже рассмотрено влияние различных конструктивных факторов на коэффициент ε .

Исследования в опытовом канале показали, что кривая коэффициента имеет выраженный минимум при определенной нагрузке на поверхность скольжения и при неизменном относительном удлинении l/b поверхности скольжения.

Коэффициент ε мало изменяется при повышении числа Фруда, т. е. при повышении скорости модели. Отсюда можно сделать

следующий вывод: минимальному значению коэффициента соответствуют определенные значения массы модели и размеров ее поверхности скольжения. Скоростные модели, двигатель которых развивает определенную стандартную мощность, имеют размерения, которые находят с помощью серии испытаний. Следует помнить, что размерения модели выбирают также с учетом ее остойчивости. Коэффициент ϵ зависит в основном от типа обтекания днищевой части корпуса, которое, в свою очередь, зависит от ее килеватости, продольной кривизны, крутки и поперечной кривизны (формы шпангоутов).

Килеватость (угол между поверхностями обоих бортов V-образной днищевой поверхности *) увеличивает площадь смоченной поверхности, т. е. приводит к повышению сопротивления трения. Кроме того, при уменьшении угла килеватости подъемная сила снижается, в то время как вода получает дополнительное поперечное ускорение. Все три фактора снижают коэффициент ϵ . Однако килеватость необходима для обеспечения остойчивости и достаточной мореходности.

Круткой называется поворот поверхности скольжения от носа к корме. У глиссирующих моделей она выражается в сильной килеватости днища в носовой и слабой килеватости в кормовой оконечности (в корме днище может быть также плоским). Влияние крутки на коэффициент ϵ еще недостаточно выяснено, однако ее необходимо рассматривать во взаимосвязи с килеватостью и остойчивостью. Глиссирующие модели обычно имеют шпангоуты вогнутой формы, особенно в носовой оконечности, которые, однако, обеспечивают более высокий коэффициент ϵ , чем прямая пластина. Наиболее выгодной формой обводов в средней части днищевой поверхности является слабая килеватость, причем днищевые плоскости к скулам переходят в слабо вогнутые поверхности, что обеспечивает благоприятное обтекание без брызгообразования.

При данной мощности двигателя масса модели имеет не менее важное значение для достижения максимальной скорости. Поскольку масса и скорость модели связаны нелинейно (рис. 84), облегчение модели при заданной мощности привода играет очень важную роль в обеспечении ее глиссирования. К сожалению, этот фактор обычно при проектировании моделей судов не учитывается. Чаще идут по пути повышения мощности, но увеличение массы модели при этом сводит на нет выгоды от дополнительной мощности.

Еще одним важным качеством глиссирующей модели является ее динамическая остойчивость. Модель должна быть остойчивой и во время ожидания старта, и на дистанции, как на спокой-

* В отечественной литературе угол килеватости отсчитывается между основной плоскостью корпуса и поверхностью днища. (Прим. пер.)

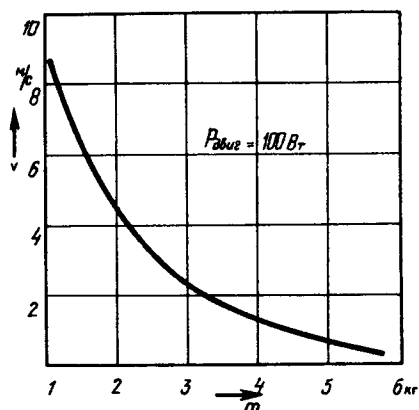


Рис. 84. Зависимость скорости от массы модели при мощности привода 100 Вт

ной воде, так и на волнении, не подпрыгивать и не опрокидываться на поворотах даже при высокой скорости.

При глissировании необходимо обеспечить динамическую остойчивость. Возмущающие силы могут действовать вдоль или вокруг трех основных осей модели, подобно воздействию возмущений на модель автомобиля (см. рис. 46), однако реакции модели судна на эти возмущения скорее подобны реакциям авиамодели. Наибольшую трудность представляет обеспечение продольной и поперечной остойчивости глissирующей модели. Типичными для нее являются одновременно совершающиеся колебания модели вокруг поперечной оси и вертикальные перемещения вверх-вниз (прыжки). Эти перемещения появляются на гладкой воде, если модель слишком легка по отношению к мощности установленного на ней двигателя или положение центра тяжести модели выбрано неправильно.

Некоторые модели прыгают только на спокойной воде. Это объясняется тем, что волны увеличивают смоченную поверхность, вследствие чего изменяется отношение l/b поверхности скольжения и демпфирование увеличивается. В любом случае прыжки отрицательно сказываются на скорости модели, поэтому необходимо предотвращать их появление как на спокойной, так и на взволнованной поверхности воды.

Наряду с правильным выбором размерений и положения центра тяжести модели существуют и другие способы улучшения ходовых качеств глissирующих моделей. Однако следует помнить, что каждая модель представляет собой компромисс между различными, чаще всего противоречащими друг другу гидродинамическими требованиями. Поскольку размерения и форма обводов поверхности скольжения зависят от числа Фруда, значит, они оптимальны только для определенной скорости. Как только скорость отклоняется от этого значения, для полного использования мощности привода необходима модель другой геометрии.

Недостаточная динамическая продольная остойчивость появляется прежде всего при малых отношениях l/b (при короткой, но широкой поверхности скольжения). Для повышения этой остойчивости на днище могут быть предусмотрены поверхности, обеспечивающие появление гидродинамической подъемной силы: два или три редана. Возможно также использование подводных крыльев.

Однако на моделях классов F1 и F3 продольной остойчивости добиваются обычно не применением реданов, а соответствующим выбором размерений, обводов поверхности скольжения и мощности двигателя. Глиссирующие же модели-копии кроме подводных крыльев имеют на днищевой поверхности реданы (см. рис. 104).

Максимальная скорость хода, маневренность модели, устойчивость ее к опрокидыванию на поворотах, величина минимального радиуса поворота зависят от динамической поперечной остойчивости, которая тем выше, чем больше отношение l/b . Однако здесь необходимо идти на компромисс, так как для обеспечения высокой динамической продольной остойчивости и низкого сопротивления величина l/b должна быть большой.

Таким образом, при проектировании корпуса глиссирующей модели необходимо учитывать несколько факторов, влияние и взаимосвязь которых должны быть хорошо известны моделисту. Правда, начинающий моделист может и не знать их в полной мере. Для начала ему целесообразнее экспериментировать с уже оправдавшими себя конструкциями, дорабатывая их. Полученный при этом опыт в будущем поможет ему в разработке собственных решений.

Вернемся, однако, к мерам, повышающим поперечную остойчивость. При малых числах Фруда ($Fr \leq 1,5$) модели, шпангоуты которых имеют скругленную форму, обладают хорошей поперечной динамической остойчивостью. Эта остойчивость еще достаточна у моделей с острыми скулами, если число Фруда не превышает $Fr \leq 4,0$. На больших глиссирующих катерах хорошую динамическую поперечную остойчивость при низком лобовом сопротивлении пытаются обеспечить путем установки параллельных корпусов, подобно катамаранам или тримаранам. При этом своеобразная воздушная подушка между поверхностями скольжения корпусов повышает подъемную силу. Такая конструкция характерна для гоночной «трехточечной» модели, обладающей хорошей поперечной и продольной остойчивостью, но отличающаяся плохой мореходностью. Моделисты уже экспериментируют с моделями такого типа, однако в соревнованиях эти модели еще не участвовали. Так, на первенстве мира 1979 г. были представлены только модели с острыми скулами.

Еще одним способом повышения динамической поперечной остойчивости является установка на поверхности скольжения продольных реданов. Реданы снижают на поворотах боковое сколь-

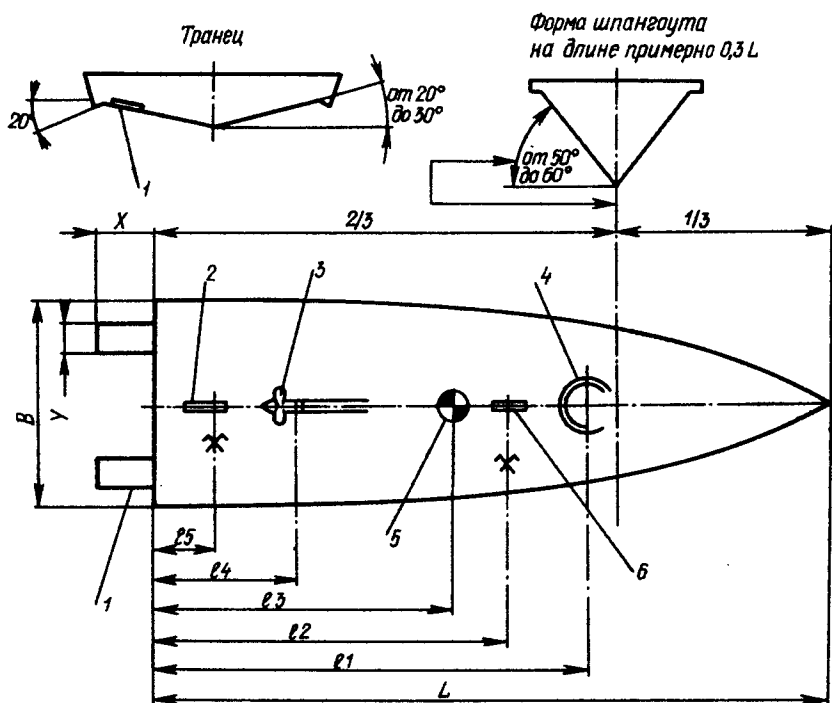
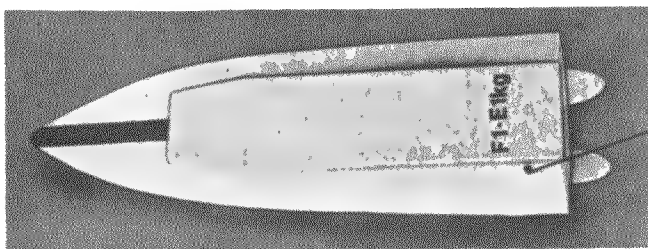


Рис. 85. Примерные геометрические соотношения для глиссирующей модели:
 $L=3 \cdot B$, $l_1=0,6 L$, $l_2=0,5 L$, $l_3=0,4 L$; l_4 от 0,15 до 0,20 L , l_5 от 0,3 до 0,4 L , x — диаметр винта, $y=0,75 x$;
 1 — транцевая доска; 2 — руль; 3 — гребной винт; 4 — двигатель; 5 — центр тяжести; 6 — плавник

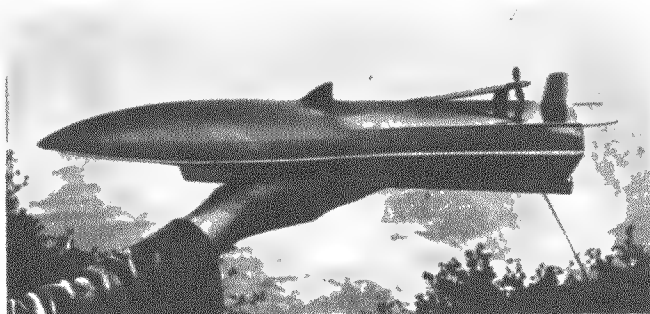
жение модели и улучшают ее остойчивость. В зависимости от назначения модель может иметь от одного до трех таких реданов с каждого борта.

На рис. 85 приведены геометрические соотношения глиссирующей модели, которые при самостоятельной разработке можно принять в качестве ориентировочных. При этом следует помнить, что модели, предназначенные для прохождения фигурного курса с крутыми поворотами (модели класса F3), должны иметь более широкий корпус. Для моделей класса F1 достаточно одного продольного редана, на моделях класса F3 может оказаться необходимой установка двух-трех таких реданов с каждого борта.

Центр тяжести должен располагаться примерно на расстоянии 0,4 L от плоскости транца. Если он отнесен слишком далеко вперед, то это сразу же видно по модели — ее нос зарывается в воду. И наоборот, если центр тяжести лежит слишком близко к корме, то модель начинает подпрыгивать и также не развивает



а)



б)

Рис. 86. Модель класса F1-E1 кг Л. Шрамма:
а — вид сверху; б — вид сбоку

полную скорость. Положение центра тяжести определяется в первую очередь расположением двигателя (который должен быть отнесен как можно дальше вперед), аккумуляторов и аппаратуры дистанционного управления. Чтобы положение центра тяжести можно было корректировать, следует предусматривать возможность небольшого перемещения аккумуляторов вдоль продольной оси модели. Для окончательной коррекции предназначены транцевые плиты. Они оказывают эффект, подобный удлинению корпуса.

Небольшой плавник, установленный в районе центра тяжести или несколько в нос от него, предотвращает боковое скольжение модели на крутых поворотах. Его площадь не должна быть слишком большой, так как это может привести к опрокидыванию модели во время поворота. Плавник по форме похож на плавник акулы, его величина определяется экспериментально. Однако поскольку управление скоростной моделью с таким плавником иногда вызывает затруднения, моделисты зачастую предпочитают ставить вместо него продольные реданы.

Показанная на рис. 86 (см. также рис. 76) модель класса F1-E1kg (с которой Л. Шрамм в 1974 г. стал чемпионом ГДР)

длиной 500 мм и шириной 170 мм примерно соответствует модели, представленной на рис. 85. Модель имеет небольшой плавник, один продольный редан и две транцевые плиты.

Форма руля обеспечивает хорошее обтекание. Максимальный угол переладки руля не должен превышать 30° . При больших углах поток на руле срывается, и руль становится неэффективным. Так как при ходе по кривой модель кренится, переложенный руль действует не только как руль направления, но и как руль глубины, что нежелательно. Нередко это приводит к опрокидыванию модели.

Винт развивает крутящий момент $M_{кр}$, который стремится привести во вращение и модель, значит, при ходе по прямой со стороны модели должен действовать равный ему противодействующий момент M_M (рис. 87). Если не принять соответствующих мер, модель будет идти с креном; при винте, например, левого вращения — с креном на правый борт. Чтобы этого не произошло, правой транцевой плите придают несколько больший наклон вниз, благодаря чему кренящий момент, обусловленный работой винта, компенсируется. Корректируется не только крен, но и дифферент.

При ходе же по повороту кроме моментов $M_{кр}$ и M_M появляются и центробежные силы. При правом повороте центробежная сила направлена влево, т. е. она действует против направления действия момента M_M . При повороте же влево действия этого момента и центробежной силы складываются. Центробежная сила $F_{ц}$ выражается соотношением

$$F_{ц} = m \cdot \frac{v_M^2}{r}, \text{ Н}, \quad (13)$$

где m — масса модели, кг; v_M — скорость модели, м/с; r — радиус поворота, м.

Поперечную остойчивость на поворотах можно дополнительно повысить, снижая крутящий момент винта. Преимущество следует отдавать винтам с высокой частотой вращения и малым крутящим моментом. Правильно построенная модель класса F1-E сохраняет остойчивость при радиусе поворота 1000—2000 мм (рис. 88). Боковое скольжение модели на повороте нежелатель-

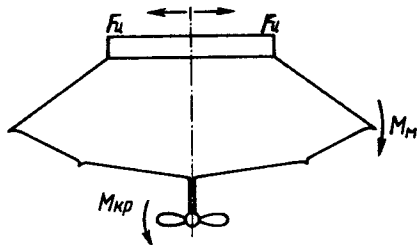


Рис. 87. Силы, действующие на глиссирующую модель вокруг продольной оси ($F_{ц}$ — силы инерции, развивающиеся при движении модели по кривой)

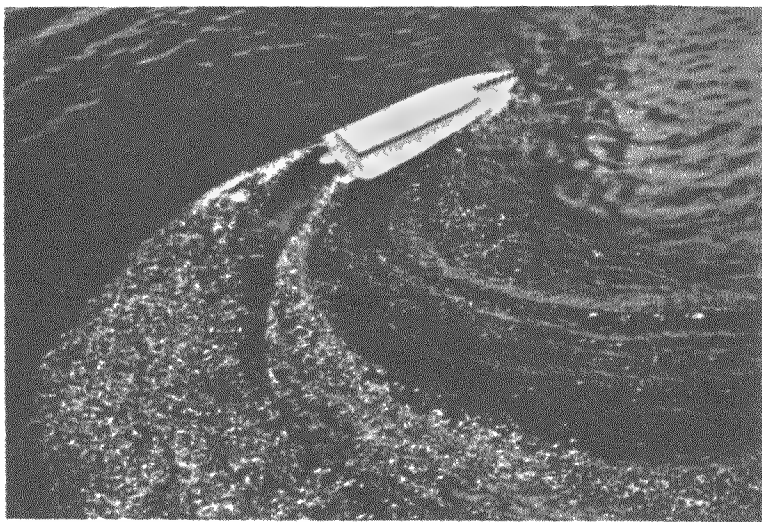


Рис. 88. Модель класса F1-E, проходящая поворот на высокой скорости

но, так как оно увеличивает путь ее движения и, следовательно, время прохождения дистанции.

Еще одним способом снижения кренящего момента, вызываемого вращением винта, является установка двух винтов, вращающихся в противоположные стороны (рис. 89). В этом случае моменты обоих винтов компенсируются друг другом. Двухвинтовые модели отличаются очень хорошей остойчивостью на поворотах. Л. Шрамм на том же самом корпусе модели класса F1-E (см. рис. 82, 83) одновинтовой движитель заменил двумя винтами (рис. 90) и в 1978 г. снова выиграл чемпионат ГДР. Однако такое решение имеет и свои недостатки. Так, здесь необходимы два двигателя, имеющие одинаковую частоту вращения. Масса двух двигателей больше, чем одного, а КПД меньше. Это требует установки аккумуляторов большей емкости.

Необходимо остановить-ся также еще на одной особенности прохождения моделью поворота. Если модель вошла в правый по-

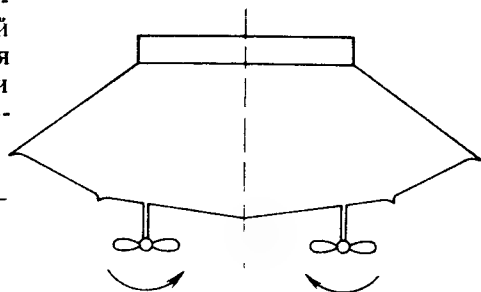
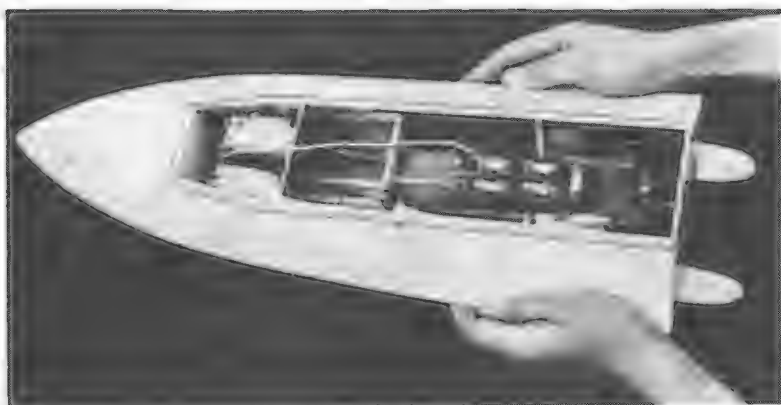
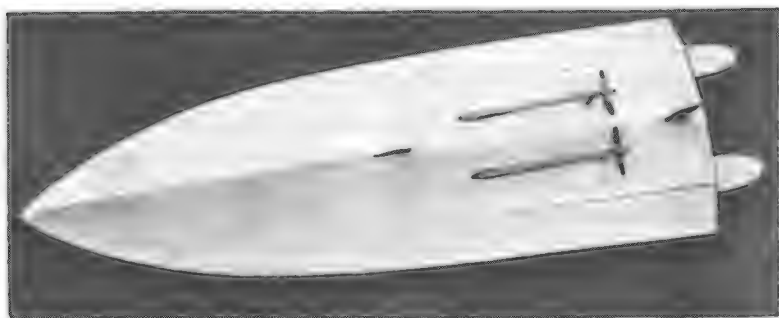


Рис. 89. Силы, действующие на глиссирующую двухвинтовую модель



а)



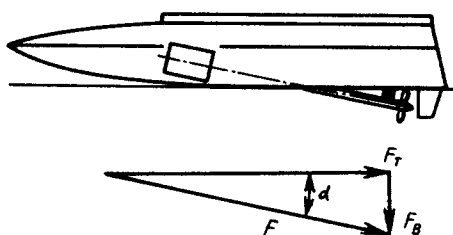
б)

Рис. 90. Модель класса F1-E1 кг с двумя винтами:
а — вид сверху; б — вид сбоку

ворот, то правый крен корпуса приводит к наклону оси руля, т. е. к уменьшению его эффективности (см. рис. 87). При повороте влево противодействующий момент M_M действует вправо, в то время как модель стремится наклониться влево; в результате модель идет с меньшим креном, и руль при этом работает более эффективно, чем при правом повороте. Чтобы достичь одинаковой поворотливости в том случае, когда модель последовательно поворачивает в ту и в другую стороны, руль можно сместить относительно диаметральной плоскости корпуса. Поэтому при вращении левого гелимпортную трубу смещают влево на 1—3 мм, чтобы эффективность руля была одинаковой при переключении его на оба борта. Точную величину смещения можно определить только экспериментально.

Еще одной сложной технической задачей является передача крутящего момента двигателя на винт.

Рис. 91. Составляющие упора при наклонном гребном вале



При расположении двигателя и гребного вала под углом к направлению движения модели (табл. 7) упор винта направлен по оси гребного вала и образует две составляющие: упор F_T и вертикальную силу F_B , приподнимающую корму (рис. 91).

Чем меньше угол наклона гребного вала, тем с большим КПД используется энергия вращения гребного винта. Кроме того, при глиссировании модели этот угол увеличивается еще больше. Поэтому всегда выгодно устанавливать двигатель как можно дальше в нос.

То, что образующаяся за счет наклона гребного вала вертикальная составляющая снижает упор, представляет собой лишь одно из отрицательных следствий. Другим следствием является воздействие этой вертикальной составляющей на корму, подобное действию динамической подъемной силы и снижающее продольную остойчивость модели.

Таблица 7

Составляющие упора винта в зависимости от угла наклона гребного вала к направлению движения

Угол, град	F , Н	F_B , Н	F_T , Н
0	100	0	100
10	100	17	98
20	100	34	94
30	100	50	87

Делались различные попытки решить эту проблему. Так, пробовали передавать крутящий момент от двигателя на горизонтально расположенный короткий гребной вал через шарнирную передачу. Однако при этом диаметр подшипника вала получался слишком большим, что приводило к дополнительным гидродинамическим потерям. Такое решение практически не дает выигрыша в силе (упоре) и лишь улучшает продольную остойчивость

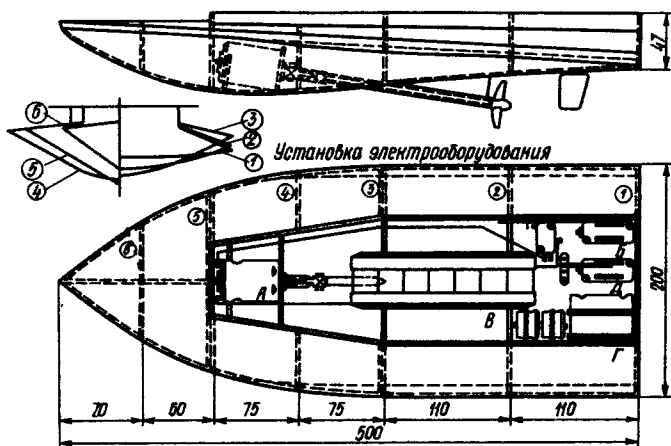


Рис. 92. Модель *Wiesel* класса F1-E1 кг конструкции В. Сенфа (ФРГ):
 А — ходовой электродвигатель; Б — сервомеханизмы; В — аккумуляторы ходового электродвигателя; Г — аккумуляторы приемника; Д — приемник

модели. Более предпочтительным является использование для передачи крутящего момента гибкого вала. Однако это предъявляет очень высокие требования к материалу вала. В конце концов оправдавшим себя стандартным решением является установка двигателя соосно гребному валу.

На описанных ниже примерах показано, как рассмотренные принципы конструирования реализуются в моделях. Известна модель класса F1-E1 кг, построенная В. Сенфом (рис. 92). При длине 500 мм и ширине 200 мм модель является относительно широкой ($L/B=2,5$) и, следовательно, остойчивой при прохождении поворота. V-образные шпангоуты носовой оконечности при легкой всхожести на волну обеспечивают также хорошую продольную остойчивость. Начиная с четвертого шпангоута днище скругляется к транцу, получая лишь слабую кривизну (радиуса 600 мм). Скругленное днище, а также вынесенный далеко вперед винт (расположенный перед вторым шпангоутом) улучшают маневренность модели. Такая модель, не рассчитанная на достижение высоких скоростей, зато устойчивая на поворотах, очень удобна для тренировок в прохождении фигурного курса для моделей класса F1. Этому требованию отвечают также электродвигатель *Mabuchi 540* и семиэлементная батарея никелево-кадмиевых аккумуляторов.

Типичными признаками глиссирующей модели класса F1-E1 кг обладает модель Я. Сасвари (рис. 93). Носовые обводы имеют V-образную форму, к транцу переходящую почти в плоскость. Эта конструкция была усовершенствована Л. Шраммом (см. рис. 76 и 90). Отношение $L/B=500/170=2,94$ оставлено неизменным.

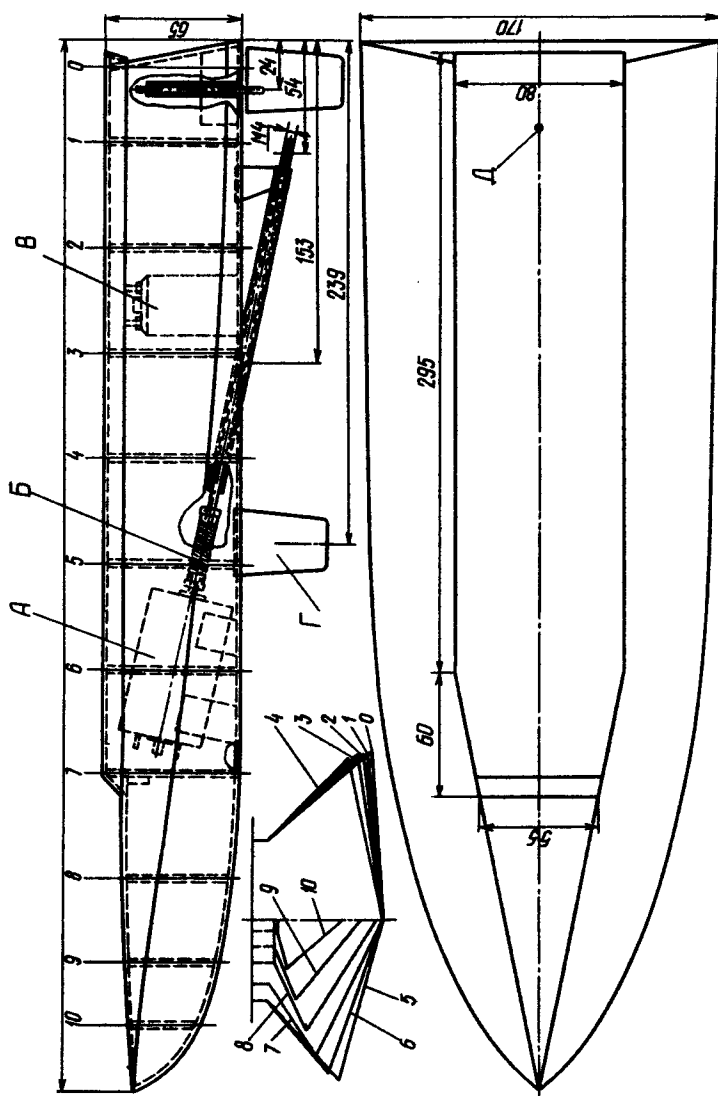


Рис. 93. Модель класса F1-E1 кг конструкции Я. Сасвари (ВНР):
 А — электродвигатель; В — муфта; Г — аккумулятор; Д — антенна

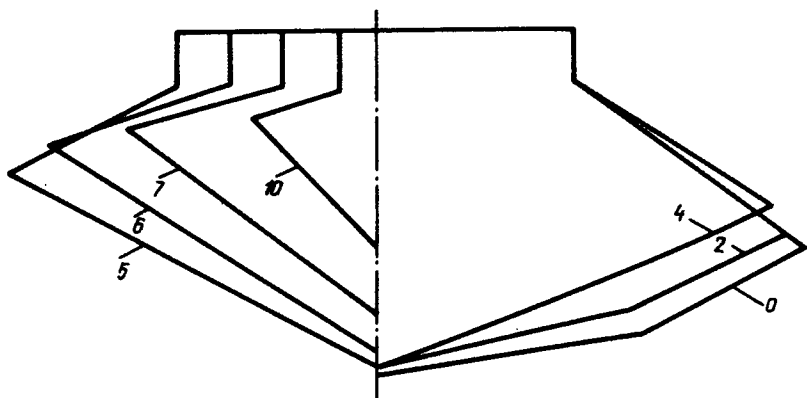


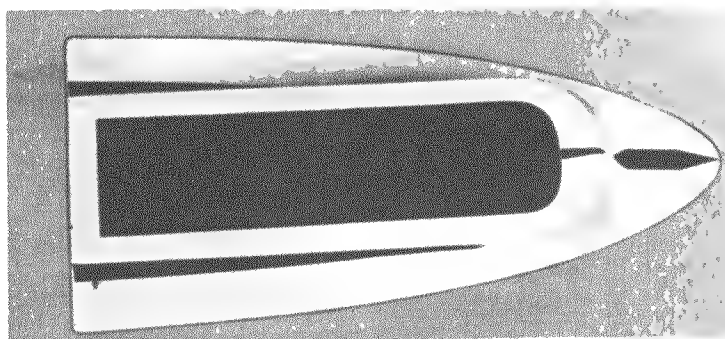
Рис. 94. Сечения по шпангоутам модели, показанной на рис. 86

Усилена V-образность кормовой оконечности, шпангоуты получили двойной излом, на днище предусмотрены продольные ребра (рис. 94), уменьшена площадь плавника и руля, установлены транцевые плиты. Все это улучшило остойчивость модели, в результате чего она стала способна проходить фигурный курс быстрее, чем за 20 с.

Благодаря применению бальсового дерева для шпангоутов, стрингеров, палубы и палубных стрингеров модель довольно легка. Общая масса корпуса и палубы составляет всего 95 г. Гладкое днище из эпоксидной смолы, армированной стекловолокном, отличается высокой прочностью. Хорошие характеристики глиссирования объясняются малой массой и высокой полировкой поверхности скольжения. Днищевая поверхность покрыта тонким слоем воска. Плоская форма корпуса модели обеспечивает и малое сопротивление воздуха, что уже имеет значение при скоростях, которые развивает модель.

Глиссирующими являются также модели класса F3-E (рис. 95), отличающиеся очень высокой маневренностью, что позволяет им очень быстро проходить фигурный курс (см. рис. 50). Их делают относительно широкими; так, отношение L/B у модели, показанной на рис. 95, составляет $500/215 = 2,33$. Винт располагают вблизи миделева сечения, двигатель и аккумуляторы для него находятся вблизи центра тяжести. Модель снабжена двумя продольными реданами с каждой стороны диаметральной плоскости.

В качестве основы для собственной разработки моделей класса F3-E может служить модель болгарского спортсмена П. Пандесова (рис. 96). Ее сечения по шпангоутам типичны для глиссирующих моделей. Обводы носовой оконечности имеют острую V-образную форму и даже на волнении обеспечивают хорошую



а)



б)

Рис. 95. Модель класса F3-E:
а — вид сверху; б — вид на транец

остойчивость. Благодаря слабо скругленному днищу в кормовой оконечности и плавнику модель отличается хорошей маневренностью. Для обеспечения перехода в режим глиссирования конструкция модели должна быть легкой.

Технический прогресс не обходит стороной и модели традиционных классов F1-E и F3-E. Так, в 1978 г. на соревнованиях в Великобритании были представлены модели класса, оснащенные супергетеродинными приемниками устройств дистанционного управления. Стартуют одновременно несколько моделей этого класса и победителем объявляется участник, модель которого за определенное время правильно прошла наибольшее число кругов. Время между моментом финиша первой модели и моментами прохождения финиша остальными моделями определяет их места при условии равенства чисел пройденных ими кругов. Если же количество этих кругов различно, то места распределяются с учетом этого показателя.

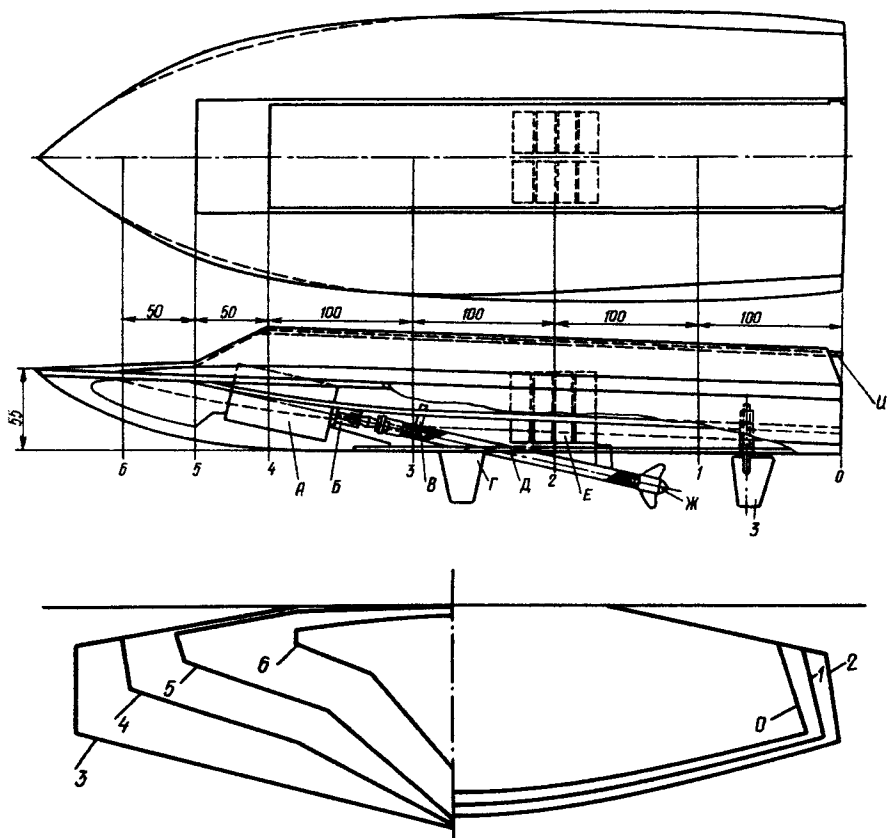


Рис. 96. Модель класса F3-E конструкции П. Пандесова (ВНР):

А — ходовой электродвигатель; Б — муфта; В — масленка; Г — плавник; Д — дейдвудная труба; Е — аккумуляторы ходового двигателя; Ж — гребной винт; З — руль; И — палуба

На соревнованиях в 1978 г. была опробована дистанция, показанная на рис. 97. Она состоит из двух треугольников с длинной стороны 30 м, модели идут в направлении часовой стрелки. Время заезда составляло 4 мин. При старте все модели должны были обойти средний буй, отсчет кругов начинался после первого прохождения моделью линии старта. Гонки проводились для моделей двух классов:

FSR-E 2,5 кг — модели массой не более 2,5 кг (правда, здесь масса была ограничена 2 кг);

FSR-E Unlimited — модели, на характеристики которых не накладывалось никаких ограничений.

В качестве источников тока допускались никелево-кадмиевые аккумуляторы (при максимальном напряжении на клеммах 42 В).

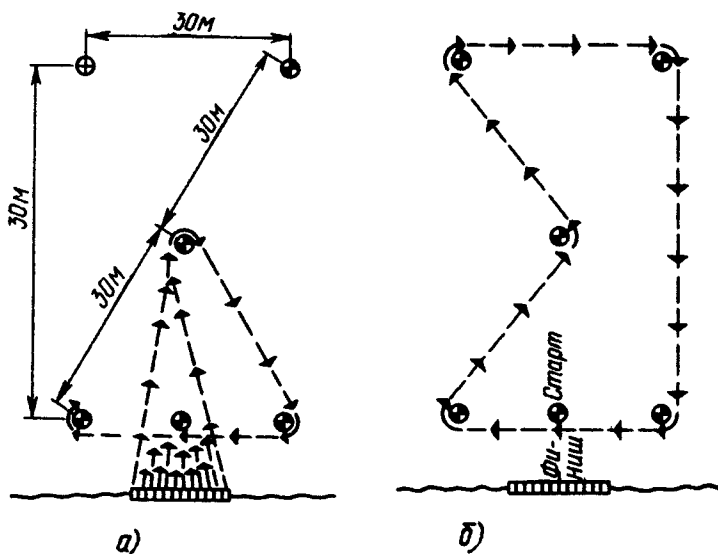


Рис. 97. Дистанция для соревнований моделей класса FSR-E:
а — при старте; б — при прохождении кругов

Будут ли модели этого класса и в дальнейшем включаться в программу соревнований, покажет будущее, но, как бы то ни было, они дали новый импульс в области разработки моделей судов.

Таким образом, модели классов F1-E и F3-E не являются единственными глиссирующими моделями. Наряду с этими упро-



Рис. 98. Модель-копия моторной яхты



Рис. 99. Модель-копия торпедного катера

шенными конструкциями в соревнованиях участвуют и глиссирующие модели-копии, прототипами для которых могут служить скоростная моторная яхта (рис. 98), небольшие боевые корабли, такие, как торпедные (рис. 99) и ракетные катера. Если модель-копия оборудована регулятором хода, позволяющим на расстоянии изменять напряжение питания двигателя, то возможен ход в любом режиме от плавания до глиссирования. На рис. 100 показана моторная яхта, идущая в режиме плавания. Такие мо-

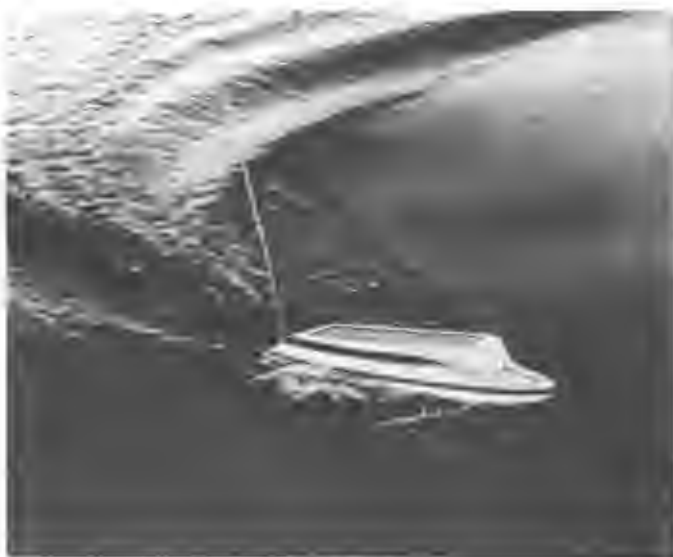


Рис. 100. Глиссирующая модель, идущая в режиме плавания

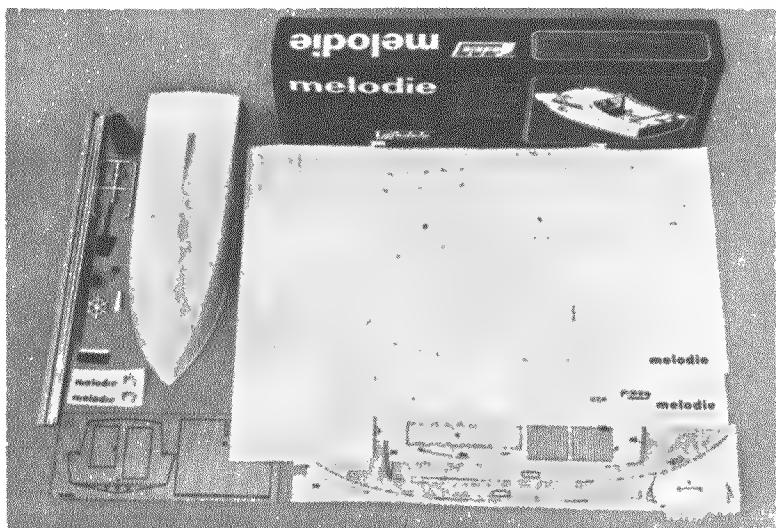


Рис. 101. Набор для постройки моторной яхты *Melodie*, выпускаемый в ЧССР

дели особенно удобны для постройки начинающими модельстами. При хороших ходовых качествах они отличаются относительно простой конструкцией. В ЧССР выпускаются, например, наборы, из которых можно быстро собрать такую модель (рис. 101).

На больших глиссирующих моделях часто встречаются приводы еще двух типов — винторулевые колонки и подвесные двигатели. Каждый из этих приводов имеет как свои преимущества, так и недостатки.

Установка винторулевой колонки на модели моторной яхты (рис. 102) позволяет расположить двигатель горизонтально. С помощью колонки можно не только обеспечивать тяговое усилие

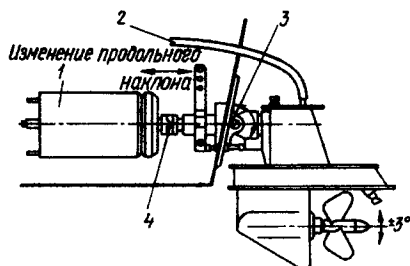


Рис. 102. Винторулевая колонка:

- 1 — электродвигатель; 2 — подача охлаждающей воды;
3 — шарнир; 4 — муфта

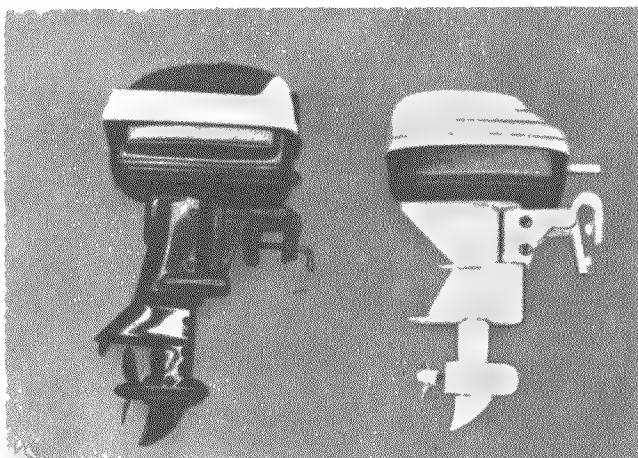


Рис. 103. Подвесные двигатели

для движения модели, но и изменять направление тяги, т. е. управлять ее курсом. С помощью сервомеханизма, установленного на самой модели, можно изменять продольный наклон колонки в пределах $\pm 3^\circ$, а значит, и дифферент на ходу и без помощи транцевых плит. Хотя изготовление винторулевой колонки механически достаточно трудно, однако открывает перед моделистом широкое поле для технического творчества. К тому же она лишена недостатков, связанных с наклоном гребного вала.

На небольших моторных яхтах и открытых моторных катерах весь привод, включая винт, выполняют в виде единого узла — подвесного двигателя промышленного изготовления (рис. 103). Они рассчитаны на напряжение 8 В и обеспечивают стандартный упор около 80 Н, которого достаточно для вывода легкой модели (массой до 800 г) в переходный режим.

3.3. Модели на подводных крыльях

Резкое повышение скорости как судов, так и их моделей возможно только за счет снижения гидродинамического сопротивления. Эту задачу в судостроении уже давно пытаются решить с помощью средств, создающих дополнительную подъемную силу.

Одним из таких средств являются подводные крылья. В Советском Союзе сегодня строятся катера и суда различных типов на подводных крыльях. Особенно широкое распространение получили пассажирские суда. На рис. 104 приведен чертеж такого судна польской постройки, подобного советским судам типа «Метеор» и «Комета».

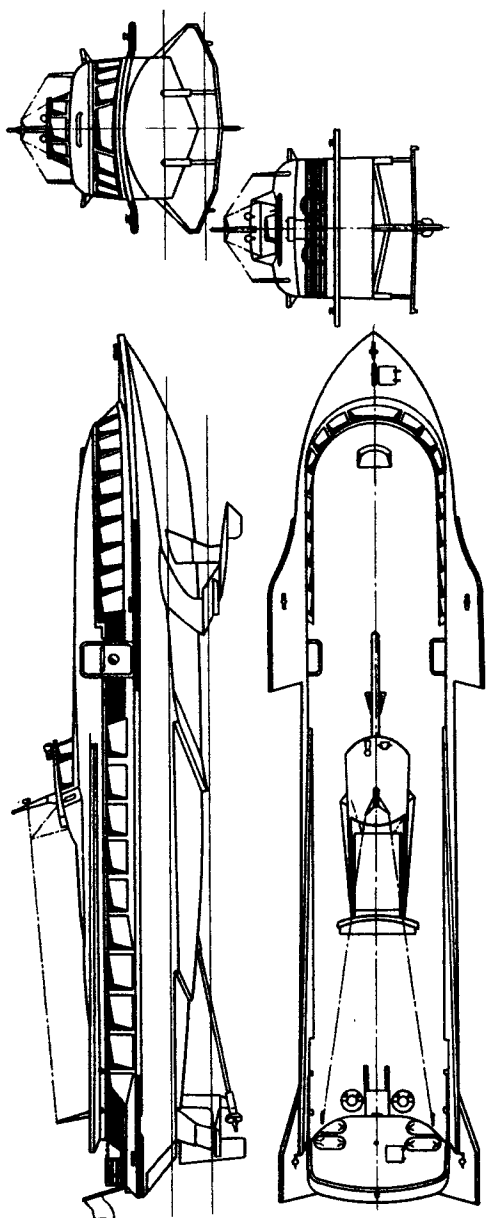


Рис. 104. Пассажирское судно на подводных крыльях (76 пассажиров, скорость 70 км/ч)

Подобно крылу самолета, подводное крыло при ходе судна развивает подъемную гидродинамическую силу. Если она достаточно велика, то корпус поднимается над водой; в воде остаются лишь сами крылья и их стойки. При этом в значительной мере уменьшается волновое сопротивление, играющее на высоких скоростях главную роль в общем сопротивлении воды движению судна. Благодаря этому мощность, требуемая для поддержания скорости судна, вышедшего в режим движения на подводных крыльях, гораздо ниже той, которая была бы необходима для обеспечения движения водоизмещающего судна.

Можно выделить два режима движения модели на подводных крыльях: режим плавания, при котором параметры движения определяет только гидростатическая сила поддержания, и крыльевой режим, при котором определяющей является гидродинамическая подъемная сила. Крыльевой режим во многом сравним с глиссированием. Мощные и относительно легкие электродвигатели и аккумуляторы позволяют строить модели судов на подводных крыльях, выходящие в крыльевой режим (рис. 105).

Теперь следует рассмотреть некоторые физические закономерности, знание которых облегчит моделисту расчет модели на подводных крыльях. Если профилированное тело (рис. 106) движется в воде с углом α к направлению движения, то на его верхней стороне возникает разрежение, а на нижней — повышенное давление. Результирующей этих разрежения и давления является подъемная сила, приложенная в центре давления и описываемая соотношением

$$F_{\text{подъем}} = 491 c_a \cdot v_M^2 \cdot A, \quad (14)$$

где $F_{\text{подъем}}$ — подъемная сила, Н; c_a — коэффициент подъемной силы профиля в воздухе; v_M — скорость модели, м/с; A — площадь крыла, м².



Рис. 105. Модель на подводных крыльях на полном ходу

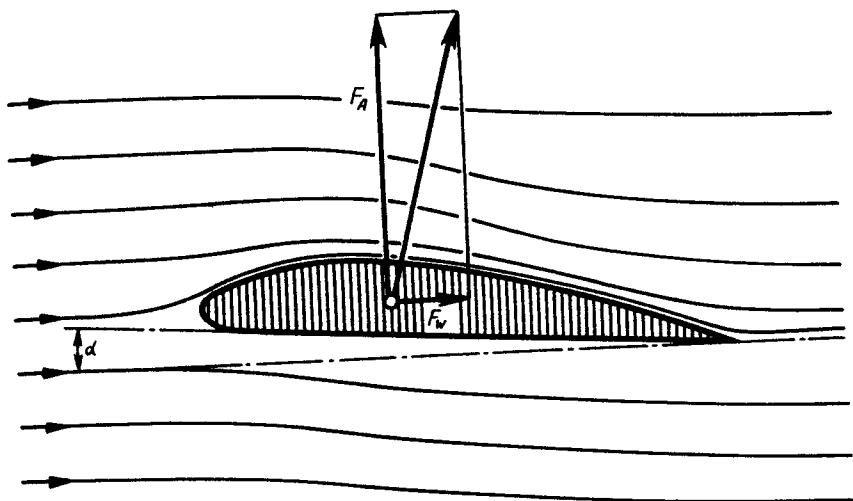


Рис. 106. Распределение давления на профиль крыла

Как видно из формулы (14), подъемная сила, развиваемая крылом, зависит от трех величин: коэффициента подъемной силы, скорости модели и площади крыла. В свою очередь, коэффициент подъемной силы определяется формой и толщиной профиля, а также углом атаки α . Профиль же, выбираемый в зависимости от расчетной скорости, должен быть таким, чтобы его обтекание оставалось, по возможности, ламинарным. Необходимо учитывать, что при высоких скоростях может появиться кавитация (см. раздел, посвященный гребным винтам), в результате чего сопротивление возрастает.

Для подводных крыльев оправдали себя плосковыпуклые профили с плоской нижней поверхностью и относительной толщиной 8—10 %. В моделях, рассчитанных на скорость хода выше 4 м/с, для предотвращения кавитационных явлений применяют профили в виде кругового сегмента также с плоской нижней поверхностью при относительной толщине профиля 6—8 %. Если для данного профиля коэффициент c_a неизвестен, то для ориентировочных расчетов его можно принимать в пределах от 0,4 до 0,75.

Сопротивление модели в крыльевом режиме определяется лобовым сопротивлением крыла, рассчитываемым по формуле:

$$F_{\text{сопр}} = 491 c_w v_M^2 \cdot DS, \quad (15)$$

где $F_{\text{сопр}}$ — сопротивление крыла, Н; c_w — коэффициент лобового сопротивления в воздухе; v_M — скорость модели, м/с; S — размах крыльев, м; D — толщина профиля, м.

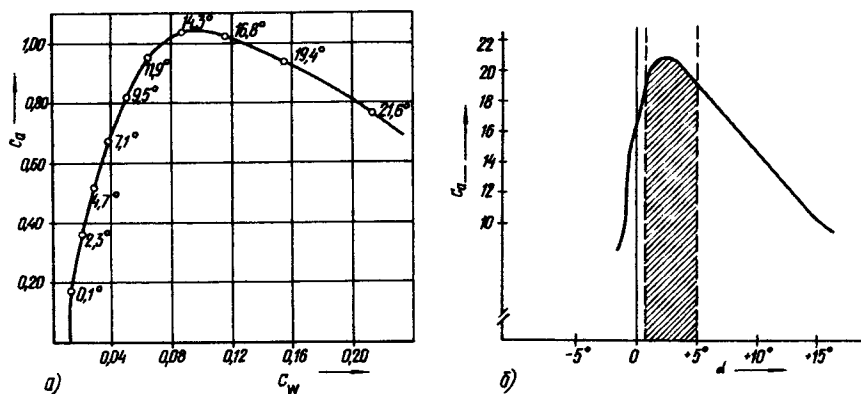


Рис. 107. Поляра плосковыпуклого профиля с относительной толщиной 10 % (а) и график для оптимизации угла атаки (б)

При расчете сопротивления модели необходимо учитывать сопротивление стоек крыльев, гребного вала, дейдвудной трубы, подшипников винта и пера руля. Для снижения сопротивления частей, выступающих в воду (стойки, гельмпортная труба), выбирают чечевицеобразный профиль минимально возможной толщины.

Как и c_a , значение c_w также зависит от угла атаки α крыла. Зависимость этих трех величин отражается полярной профилем (рис. 107, а).

Для оптимизации профиля используют зависимость отношения $c_a : c_w$ от угла атаки (рис. 107, б). Этот график позволяет найти диапазон углов атаки, в котором мощность двигателя модели используется наиболее эффективно.

Для примера можно привести характеристики модели катера на подводных крыльях (рис. 108), которая при скорости $v_m = 2$ м/с устойчиво скользит на крыльях. Профиль крыльев полусимметричный с плоской нижней поверхностью, относительная толщина 9 %. Общая их площадь составляет $A = 394,9$ см² (площадь носового крыла $5,5 \times 36,8 = 202,4$ см², кормового — $5,5 \times 35,0 = 192,5$ см²). Угол атаки носового крыла $+1,5^\circ$, кормового — $+2^\circ$. Как видим, углы установки носового и кормового крыльев различны. Их разность определяет продольную остойчивость модели в крыльевом режиме; как и у летающих моделей, она составляет $3\text{—}4^\circ$. Оптимальные углы атаки зависят от профиля крыльев и характеристик модели. Как показывает опыт, носовое крыло устанавливается под углом от $+2$ до $+8^\circ$, кормовое — от -2 до $+5^\circ$.

Для обеспечения продольной остойчивости модели на подводных крыльях большое значение имеет также положение ее центра

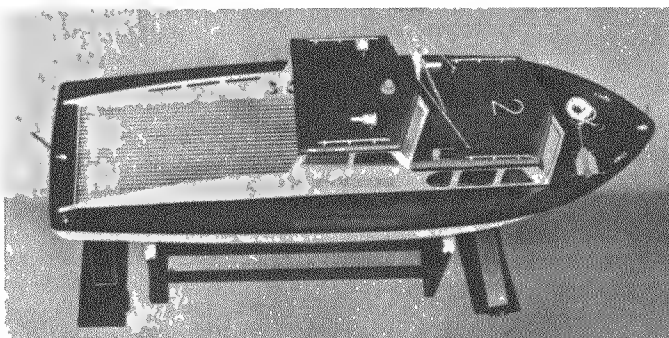


Рис. 108. Модель катера на подводных крыльях

тяжести, которое зависит от распределения подъемных сил по обоим крыльям. У модели, показанной на рис. 108, крылья развивают различные подъемные силы из-за различия их площадей и углов атаки. Разница относительно положения центра тяжести компенсирована большим смещением носового крыла к миделю. Центр тяжести модели расположен на расстоянии 310 мм от транца, что примерно соответствует половине длины по конструктивной ватерлинии (ее длина равна 630 мм). Стойки носового крыла установлены на расстоянии 490 мм от транца, кормового — всего лишь на расстоянии 55 мм.

Продольная остойчивость зависит также от расстояния между обоими крыльями: чем оно больше, тем лучше остойчивость.

На практике отладка модели так, чтобы был обеспечен надежный ход в крыльевом режиме, требует определенного навыка. При этом необходимо экспериментирование с изменением положения центра тяжести и угла атаки подводных крыльев. Возможны два режима, при которых корректируют два этих параметра:

если, несмотря на правильное положение центра тяжести и достаточную скорость, модель не выходит в режим скольжения на крыльях, необходимо увеличить угол атаки носового крыла;

если после короткой фазы скольжения на крыльях корпус модели снова опускается на воду, необходимо уменьшить угол атаки носового крыла.

В крыльевом режиме для обеспечения поперечной остойчивости крыльям придают V-образную форму. Однако эта остойчивость не должна быть слишком высокой, например благодаря очень длинному крылу. В этом случае модель будет реагировать на переладку руля слишком вяло или недостаточно.

На рис. 109 указаны размеры подводных крыльев модели, изображенной на рис. 108. Ее носовое крыло имеет больший угол V-образности, чем кормовое трапецевидное крыло. Форма

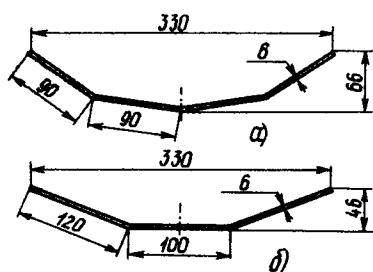


Рис. 109. Подводные крылья:
а — V-образное носовое; б — кормовое

крыльев зависит также от того, частично ли или полностью погружены они в воду на ходу модели (рис. 110).

На верхней и нижней сторонах концов полностью погруженного крыла происходит выравнивание давлений вследствие перетекания воды с нижней поверхности (где давление повышено) на верхнюю (где развивается разрежение). Это выравнивание давлений создает дополнительное сопротивление, называемое индуктивным. Для его снижения в окне, образуемом подводным

крылом и корпусом модели, устанавливаются вертикальные поверхности. Они выполняют ту же задачу, что гребни для удержания пограничного слоя на крыльях самолетов. Кроме того, они увеличивают площадь смоченной поверхности в крыльевом режиме и благодаря этому повышают устойчивость на курсе.

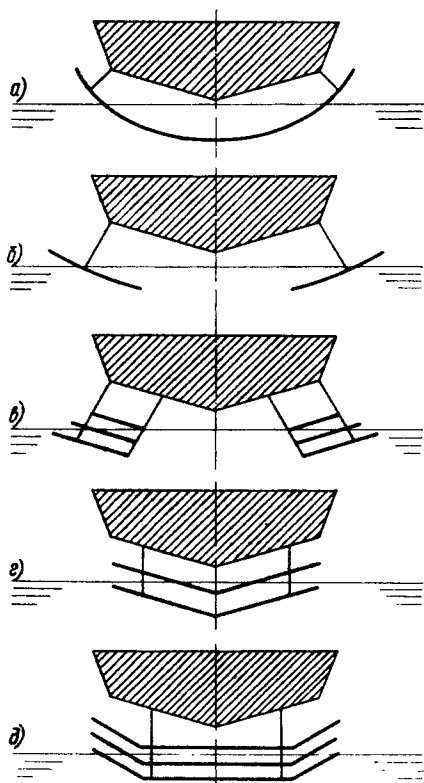


Рис. 110. Формы подводных крыльев:

а — дугообразная; б — дугообразная катамаранная; в — этакерочная; г — этакерочная V-образная; д — этакерочная трапециевидная

Два редана на днищевой поверхности модели пассажирского судна на подводных крыльях (см. рис. 104) обеспечивают срыв потока и тем самым облегчают переход из режима плавания в режим глиссирования, а затем и в крыльевой режим.

Кроме уже рассмотренных поперечной и продольной устойчивостей модель должна также обладать хорошей устойчивостью вокруг вертикальной оси, которую называют устойчивостью на курсе. Она зависит от величины проекции смоченной поверхности на диаметральную плоскость, называемую боковой поверхностью. В режиме плавания в большинстве случаев эта площадь достаточно велика для обеспечения устойчивости на курсе. Иное дело — в крыльевом режиме. Здесь эта устойчивость определяется площадью проекции только крыльев, стоек и руля. При высокой скорости эта площадь обычно невелика. В необходимых случаях она может быть увеличена с помощью плавников или повышения угла V-образности.

Все сказанное справедливо и по отношению приводов для авиамodelей, поэтому судомodelисту полезно ознакомиться также с основами расчета modelей летательных аппаратов (см. следующую главу). Во многих случаях при конструировании модели на подводных крыльях помогает анализ чертежей и рисунков соответствующих судов. При этом зачастую возникает вопрос: почему тому или иному элементу конструкции придана именно такая форма? Чаще всего эта форма определяется типом судна. Так, например, легкие торпедные катера некоторых классов оснащены только одним подводным крылом, расположенным в средней части корпуса. Известные пассажирские суда на подводных крыльях, например типа «Метеор» (рис. 111), имеют два крыла, а типа «Комета» — три.

Подводные крылья для больших судов должны иметь или большой размах, или большую хорду, чтобы они могли развить требуемую подъемную силу. Однако крылья не должны слишком далеко выходить за боковые габариты судна, в ином случае появится опасность их повреждения при швартовке. С другой стороны, увеличение хорды крыла влечет за собой повышение его



Рис. 111. Судно на подводных крыльях типа «Метеор»

индуктивного сопротивления и ухудшает обтекание. В какой-то степени выходом здесь может быть использование этажерочных крыльев. На максимальной скорости верхние крылья выходят из воды, тем самым снижая сопротивление воды движению судна.

На крупных судах угол атаки крыльев автоматически — по командам ЭВМ — изменяется с помощью гидравлических устройств в зависимости от высоты волн и глубины погружения крыльев.

Для моделистов может представлять интерес комбинация крыльев с водометным движителем.

Для настоящих судов крылья изготавливают из алюминия или нержавеющей стали, а для моделей их можно сделать из самого разнообразного материала. Например, на модели, показанной на рис. 108, крыло выполнено из бука, стойки — из листового дюрала. Гельмпорт изготовлен за одно целое со стойкой. Это привело к снижению гидродинамического сопротивления, однако, несмотря на установку двух рулей относительно большой площади, модель недостаточно быстро реагирует на их переключку. Оптимальной же является установка руля непосредственно за винтом.

На этой модели использовано еще одно интересное решение. Ее гребной вал выполнен гибким из стальной проволоки диаметром 1,2 мм (рис. 112). По окончании каждого дня соревнований его необходимо снимать, высушивать и протирать маслом, но сделать это довольно просто, так как руль при этом снимать не надо. Благодаря V-образным обводам модель обладает хорошей остойчивостью даже на поворотах, которые модель проходит в переходном режиме (рис. 113). После выхода на прямую она снова поднимается на крылья.

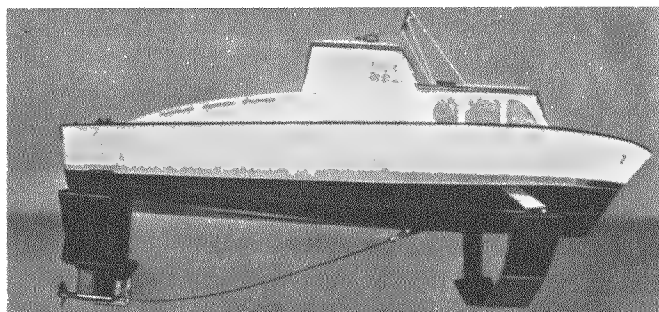


Рис. 112. Конструкция привода гребного вала и руль модели судна на подводных крыльях



а)



б)

Рис. 113. Модель на подводных крыльях проходит поворот:
а — в переходном режиме; *б* — в крыльевом режиме

Электродвигатели на летающие модели стали устанавливать примерно с 1973 г. Вначале для этого использовали мощные двигатели, применяемые на моделях судов. Именно на базе такого двигателя Л. Шрамм (ГДР) в 1973 г. построил модель легкого планера с двигателем *Jumbo-2000*, питание которого обеспечивал один серебряно-цинковый аккумулятор (рис. 114). Для постройки летающих моделей применялись и другие модифицированные электродвигатели, предназначенные для плавающих моделей, например двигатель типа *Sea Wasp* (рис. 115).

С тех пор число летающих моделей, приводимых в движение с помощью электродвигателя, увеличивается все более быстрыми темпами. В 1978 г. совершила свой первый полет модель с тянущим винтом, способная выполнять все фигуры пилотажа и даже взлетать с земли. К сожалению, более широкому распространению моделей этого класса препятствует невозможность участвовать с ними в соревнованиях высокого ранга. Хотя авиамодельные федерации некоторых стран и организуют национальные соревнования моделей с электродвигателями, международные соревнования с ними пока не проводятся.

Новичкам-моделистам, опыт которых в постройке летающих моделей еще мал, можно рекомендовать следующее:

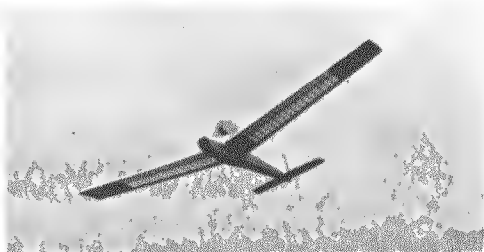
при выборе типа модели и ее постройке почаще советоваться с опытными моделистами;

первая модель должна быть простой в постройке и устойчи-



Рис. 114. Радиоуправляемая модель планера с электродвигателем (конструкция Л. Шрамма)

Рис. 115. Радиоуправляемая модель планера с электродвигателем при заходе на посадку



вой в полете, лучше всего выбрать для этого модель планера; ознакомиться с основами аэродинамики; перед началом работы изучить указания по постройке модели и неукоснительно соблюдать их; первые полеты, а также первые попытки выполнения пилотажа проводить под наблюдением опытного моделиста; к усложнению программы полета переходить только после отработки взлета, разворотов, набора высоты и снижения, а также захода на посадку; к постройке модели с двигателем и ее полетам переходить только после полного освоения модели планера.

4.1. Модели планеров

Первые электродвигатели на летающих моделях устанавливались в качестве вспомогательных двигателей для набора высоты, на которой модель начинала парить. Легкая модель планера даже при малой тяге быстро набирает высоту.

Для первых опытов достаточно легкой модели планера (см. рис. 114). На ней могут быть установлены батарея, допускающая большую нагрузку, и двигатель, закрепленный на пилоне. Такое крепление двигателя возможно даже на моделях с высо-

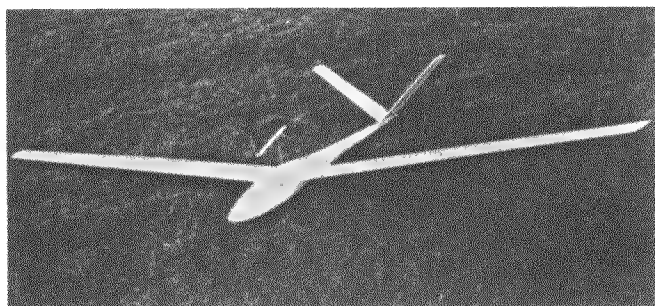


Рис. 116. Радиоуправляемая модель планера с электродвигателем (конструкция Л. Шрамма)

кими аэродинамическими характеристиками (рис. 116). Пилон модели, показанной на рис. 116, выполнен из тонкой металлической трубки, двигатель закреплен на ней с помощью хомута в районе центра тяжести (рис. 117). Благодаря такому креплению двигатель можно легко снять с модели, после чего использовать ее в качестве обычного планера.

Источник электропитания (серебряно-цинковый или никель-кадмиевый аккумулятор) установлен ниже центра тяжести модели, поэтому для ее полетов без двигателя и аккумуляторов балансировки не требуется. Электродвигатель, используемый для набора моделью высоты и поиска восходящих потоков воздуха, имеет некоторые преимущества по сравнению с двигателями внутреннего сгорания. Он работает почти бесшумно, не загрязняет модель и, что главное, может включаться и выключаться как угодно часто, пока это позволяет источник электропитания. При неудачном заходе на посадку, например, модель может повторить его.

Так как тяга модели с электродвигателем низка по отношению к массе, модель обычно запускают с руки. При этом спортсмен держит ее в горизонтальном положении, включает двигатель и сильно бросает ее также в горизонтальном направлении или под небольшим углом вверх (рис. 118). Для начала следует поэкспериментировать с техникой запуска. После броска модель должна набирать высоту под небольшим углом (рис. 119).

Совершенствование приводов с электродвигателем влечет за собой и улучшение конструкций моделей. Привод рассчитывают так, чтобы примерно в течение 10 мин он обеспечивал оптимальную тягу. При этом он не должен слишком утяжелять модель и ухудшать ее аэродинамику.

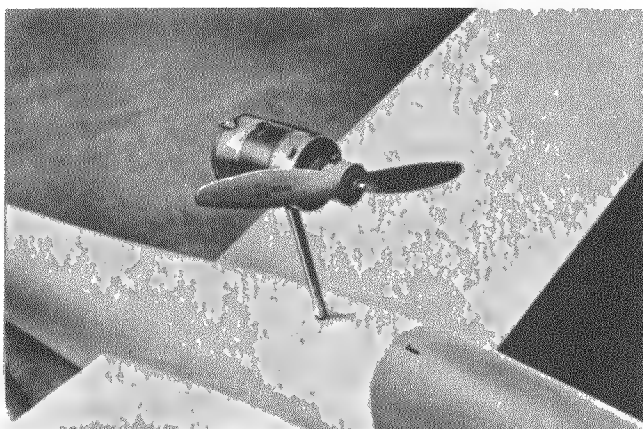


Рис. 117. Крепление электродвигателя на модели планера



Рис. 118. Старт модели с руки

Так как полет моделей планеров проходит при относительно малой скорости, быстро вращающийся винт (например, сидящий непосредственно на валу двигателя) имеет низкий КПД. Для повышения КПД на такие модели устанавливают низкооборотные винты большого диаметра и шага, подобные винтам для резиномоторных моделей. Правда, эти винты требуют снижения частоты вращения двигателя с помощью редуктора. Редуктор вызывает дополнительные потери, которые, однако, с избытком ком-



Рис. 119. Модель набирает высоту после старта



Рис. 120. Модель *Mosquito* со складывающимся винтом при старте

пенсируются повышенным КПД низкооборотного воздушного винта.

Так как воздушный винт необходим только при наборе моделью высоты, а во время парения ухудшает ее аэродинамиче-

ские качества, его делают складывающимся. Лопастей при вращении винта удерживаются в рабочем положении центробежными силами (рис. 120), а при остановке двигателя притягиваются к фюзеляжу слабыми пружинами (рис. 121).

Разработанная Ф. Милитки модель *Mosquito* является типичным планером, однако благодаря двигателю, расположенному в фюзеляже, имеет и признаки моторной модели. Чтобы сохранить аэродинамически выгодную форму фюзеляжа, вращение от вала двигателя (рис. 122 и 123) передают к винту через промежуточный вал. Инерционность большого винта со складывающимися лопастями может привести к резкой ударной нагрузке на модель при пуске двигателя. Для ее предотвращения между промежуточным валом и валом двигателя установлена упругая муфта, состоящая из двух резиновых колец.

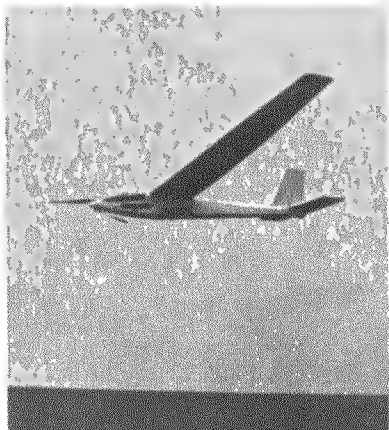


Рис. 121. Модель *Mosquito* во время снижения (лопасти винта притянуты к фюзеляжу)

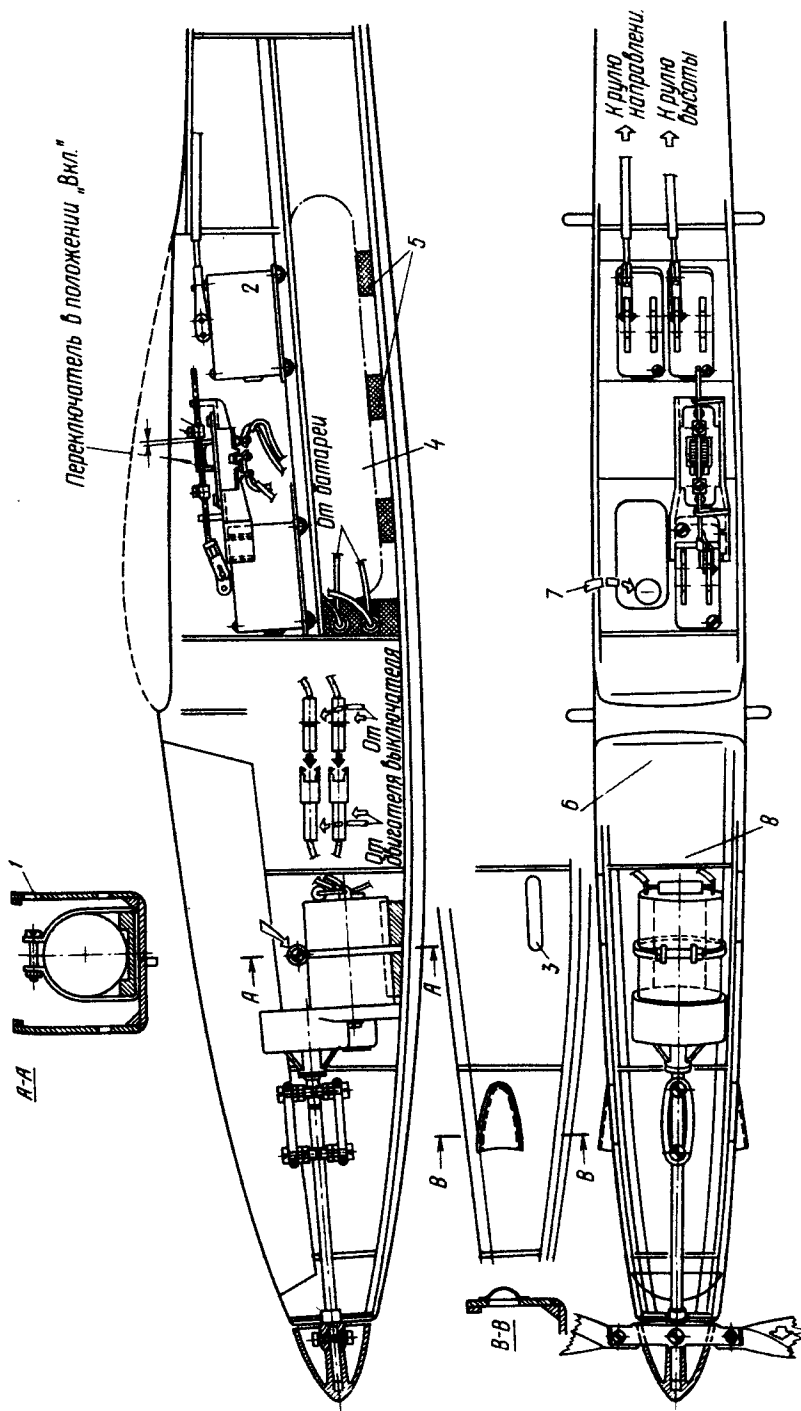


Рис. 122. Компонентный чертеж модели *Mosquito* с электродвигателем, выпускаемой фирмой *Grainger* (ФРГ):

1 — отверстие для ввода отвертки; 2 — сервомеханизм; 3 — вырезы в фюзеляже для воздуха, охлаждающего двигатель; 4 — батарея; 5 — подкладка из губчатой резины; 6 — место для приемника; 7 — отверстие для провода; 8 — место для батареи приемника

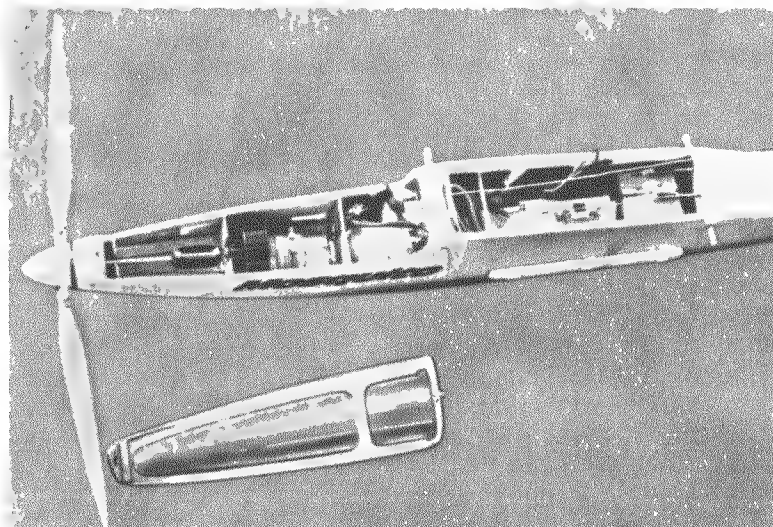


Рис. 123. Расположение электропривода и радиоаппаратуры в модели *Mosquito*

Двигатель смещен относительно плоскости симметрии модели и наклонен относительно его продольной оси. Для объяснения причин этого посмотрим, как обеспечивается устойчивость модели планера относительно ее трех координатных осей (рис. 124).

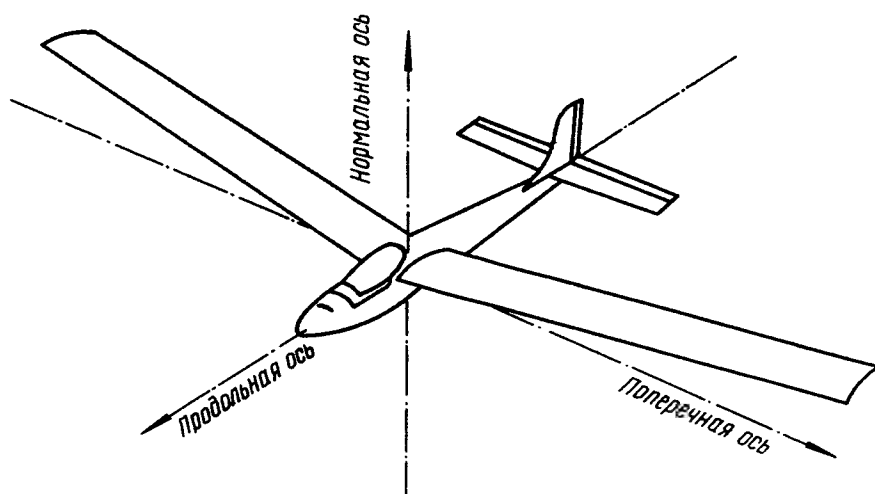


Рис. 124. Координатные оси модели самолета

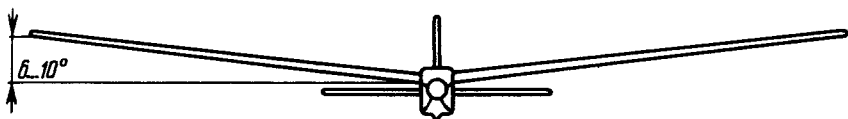


Рис. 125. Поперечное V крыла

Устойчивость относительно продольной оси достигается благодаря углу поперечного V крыла (рис. 125). Для моделей планеров этот угол составляет от 6 до 10°. У моделей с элеронами он может быть принят равным от 0 до 6°. При его выборе следует помнить, что больший угол поперечного V повышает устойчивость модели, но уменьшает эффективность руля направления.

Устойчивость относительно нормальной оси определяется действием горизонтального и вертикального оперений.

Устойчивость же относительно поперечной оси зависит от разницы установочных углов крыла и горизонтального оперения (рис. 126). Его величину для конкретной модели определяют экспериментально, но в большинстве случаев он равен 3°. При этом следует учитывать, что слишком малая разница установочных углов снижает устойчивость относительно поперечной оси, слишком большая — уменьшает эффективность руля высоты.

Воздушный винт тем больше повышает устойчивость модели в полете, чем больше его тяга по сравнению с массой модели. Однако вращающийся воздушный винт, особенно винт большой массы, каким и является винт модели *Mosquito*, развивает большой крутящий момент, приводящий к крену модели в сторону, противоположную направлению вращения винта. Поскольку на модели *Mosquito* винт вращается вправо (при взгляде в направлении полета), этот крен может привести к постоянному развороту модели влево при нейтральном положении всех рулей управления.

Поскольку рули предназначены для компенсации сил, не зависящих от двигателя, то в данном случае для предотвращения левого крена ось винта установлена с наклоном вправо относительно продольной оси модели. Этот угол выбирается экспериментально для каждой модели. Обычно у моделей планеров он составляет 2—3°.



Рис. 126. Разница установочных углов крыла и горизонтального оперения

Полет модели планера с двигателем проходит при двух существенно различных режимах — при работающем и остановленном воздушном винте. При этом различно обтекание аэродинамических поверхностей модели вследствие того, что ее скорость при работающем двигателе в несколько раз выше, чем после его останова. Если в режиме парения модель обладает продольной устойчивостью, то при резком возрастании скорости набегающего потока воздуха в том же направлении подъемная сила крыла также возрастает, задирая нос модели. Модель начинает набирать высоту, и скорость ее падает, вместе с нею уменьшается и подъемная сила. Набор высоты сменяется снижением с увеличением скорости, подъемная сила возрастает и т. д. Сверхкритическое снижение скорости может привести даже к штопору модели.

Для предотвращения этих отрицательных явлений ось воздушного винта несколько наклоняют вниз относительно продольной оси модели. При этом составляющая тяги винта, направленная вниз, должна компенсировать увеличение подъемной силы крыла за счет работы винта. Угол наклона воздушного винта вниз составляет примерно $2-3^\circ$ и для каждой модели определяется по результатам летных испытаний.

Что же дает установка электропривода на модели планера, например на модели *Mosquito*, у которой размах крыла 2500 мм, длина фюзеляжа 1100 мм, площадь крыла 44 дм², полетная масса около 1600 г, нагрузка на крыло 31 г/дм²? При оптимальной работе привода скорость подъема этой модели может достичь от 0,8 до 1,6 м/с, т. е. в среднем 1,2 м/с, в течение 8—12 мин. При этом батарея из семи никелево-кадмиевых аккумуляторов (1,2 А·ч) позволяет винту развивать статическую тягу $\bar{F}=4,7$ Н. Таким образом, отношение этой тяги к весу G модели (который при массе 1600 г и ускорении силы тяжести 9,81 м/с² равен примерно 16 Н)

$$\frac{F}{G} = \frac{4,7\text{Н}}{16,0\text{Н}} \approx 0,29. \quad (16)$$

При увеличении количества аккумуляторов до восьми тяга возрастает до 5 Н, что повышает скорость набора высоты до 1,5 м/с. Однако время разряда аккумуляторов сокращается до 5 мин, и в результате увеличения высоты подъема не происходит.

Модель *Mosquito* (а также показанная на рис. 116) при одном заряде батареи может быть несколько раз поднята на высоту 100—150 м, откуда переходит в планирующий полет, а при попадании в восходящие потоки воздуха — в режим парения.

Такие модели хорошо парят, однако из-за относительно большой массы электродвигателя их снижение идет с высокой скоростью. Двигатель позволяет производить поиск восходящих потоков.

Необходимо помнить, что электродвигатель и его аккумуляторы могут быть причиной поломок модели при ее посадке. Батарея из семи аккумуляторов, масса которой составляет 360 г, при слишком сильном ударе модели о грунт может повредить не только модель, но и расположенные перед ней приемник, его аккумулятор и электродвигатель. При этом, как правило, и сама батарея полностью выходит из строя.

Чтобы снизить массу привода, а значит, и риск поломки модели, стараются уменьшить размеры двигателя и батареи при повышении их нагрузки. При этом энергия, расходуемая двигателем, должна быть достаточной для подъема модели на требуемую высоту. По такому принципу разработана модель планера *Elektro-Baby* (рис. 127). В соответствии с классификацией она относится к малым моделям планеров с электродвигателем и имеет следующие основные характеристики:

Размах крыла	1800 мм
Длина фюзеляжа	930 мм
Площадь крыла	31,5 дм ²
Полетная масса	около 850 г
Нагрузка на крыло	27 г/дм ²

При работе двигателя в течение 3—4 мин модель набирает высоту примерно 150 м, при этом средняя скорость подъема составляет около 1 м/с. Воздушный винт развивает статическую тягу от 2,0 до 2,3 Н, обеспечивая отношение тяги к весу модели:



Рис. 127. Радиоуправляемая модель планера *Elektro-Baby* с электродвигателем

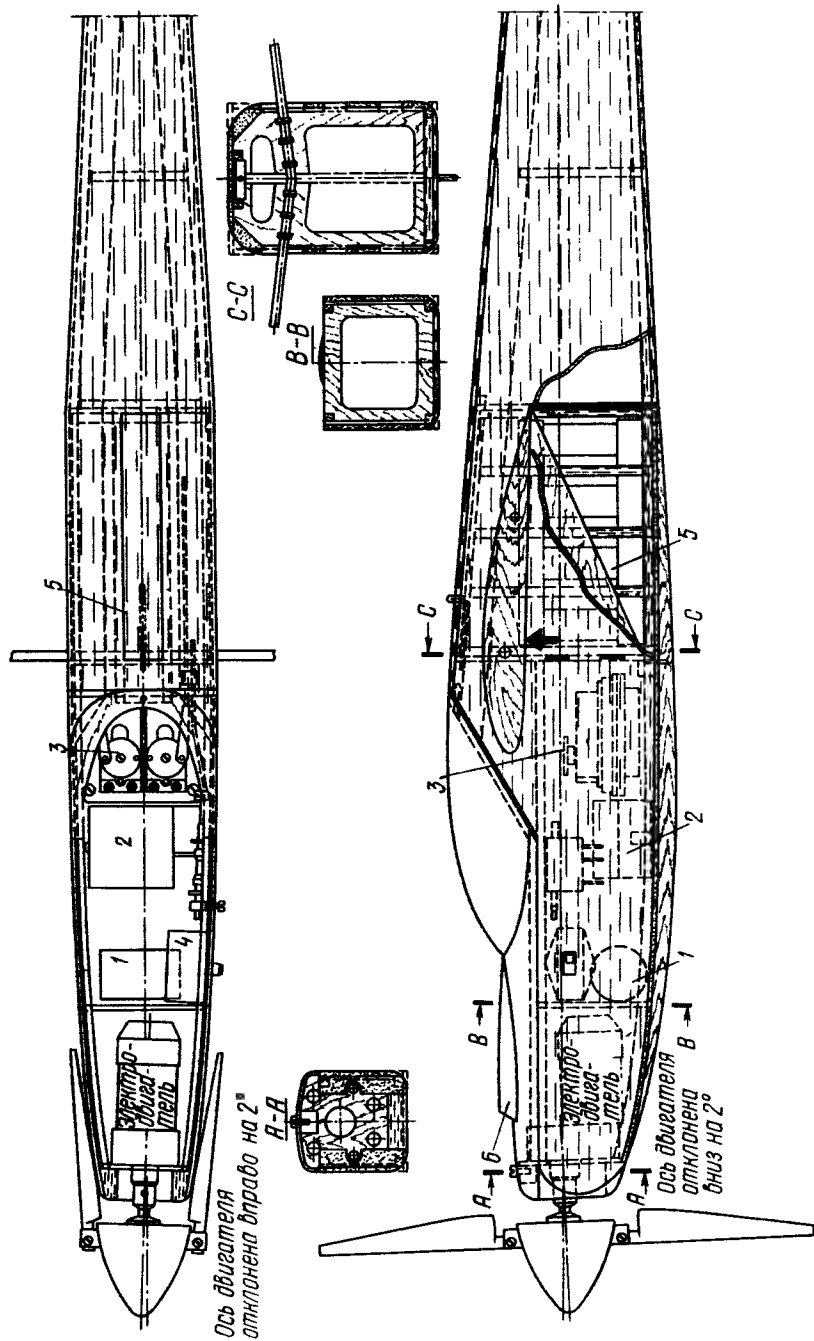


Рис. 128. Компонировочный чертеж модели планера *Electro-Baby*, выпускаемой фирмой *Multiplex*:

1 — аккумулятор 225 ДК; 2 — приемник; 3 — сервомеханизмы; 4 — переключатель; 5 — батарея ходового электродвигателя; 6 — воздушнаяборник

$$\frac{F}{G} = \frac{2,3H}{8,5H} \approx 0,27.$$

Таким образом, удельная тяга винта и скорость подъема этой модели мало отличаются от соответствующих показателей модели *Mosquito*, хотя модели имеют разные размеры.

На рис. 128 показаны некоторые особенности конструкции модели *Elektro-Baby*. Малогабаритный электродвигатель обеспечивает вращение воздушного винта со складывающимися лопастями через редуктор с передаточным отношением 5:1. Этот двигатель настолько мал, что от удлинения вала здесь можно было отказаться и приблизить двигатель к винту, не нарушая аэродинамики носовой части фюзеляжа. Отсутствует здесь и демпфирующая муфта. Масса двигателя с редуктором составляет около 95 г, ось двигателя наклонена к продольной оси фюзеляжа на 2° в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Легкая батарея (7 аккумуляторов, 0,5 А·ч, масса 190 г) устанавливается в шахту ниже центра тяжести модели. Она значительно снижает риск повреждения модели при жесткой посадке. Однако даже на небольшой модели еще достаточно места для размещения аппаратуры дистанционного управления (рис. 129).

Описанные выше модели одномоторных планеров довольно просты по конструкции и имеют ограниченные возможности по их управлению, в частности у них отсутствует устройство для изменения частоты вращения воздушного винта, так как большая мас-

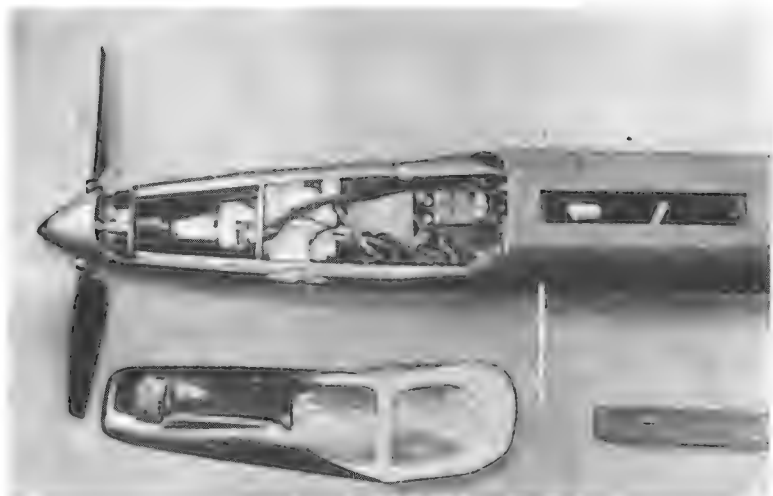


Рис. 129. Расположение привода и аппаратуры радиоуправления в модели *Elektro-Baby*

са регулятора частоты вращения приводит к дополнительной потере мощности двигателя.

Одной из реальных возможностей обеспечения хотя бы двух ступеней частоты вращения электродвигателя является последовательно-параллельное включение двух плечей батареи, каждое из которых состоит из четырех никелево-кадмиевых аккумуляторов. При параллельном соединении этих плечей частота вращения двигателя примерно вдвое меньше его номинальной частоты, что позволяет модели планера не терять высоту при отсутствии восходящих потоков. Для набора же высоты все аккумуляторы включаются последовательно, при этом двигатель работает с номинальной частотой вращения.

Правда, последовательно-параллельным включением источника питания моделисты пользуются неохотно, так как при этом не все аккумуляторы разряжаются равномерно. Параллельное включение обоих плечей из-за уравнивающих токов приводит к значительным потерям мощности, а иногда и к выходу аккумуляторов из строя.

Этот недостаток исключается при установке на модели двух двигателей, которые для полета по горизонтали включаются последовательно, для набора высоты — параллельно. Такое включение позволяет легко изменять частоту вращения двигателей. Кроме того, их пуск производится при половинном напряжении, что предотвращает ударные нагрузки на двигатель, редукторы и воздушные винты, т. е. увеличивает срок службы привода.

Однако КПД двух малых электродвигателей всегда меньше КПД одного более крупного двигателя такого же типа и равного по мощности обоим этим двигателям, вместе взятым.

Модель планера *Scirocco* (рис. 130) является примером того, как оптимизация всех параметров помогает компенсировать недостатки двухмоторного привода. Модель имеет следующие характеристики:

Размах крыла

2500 мм

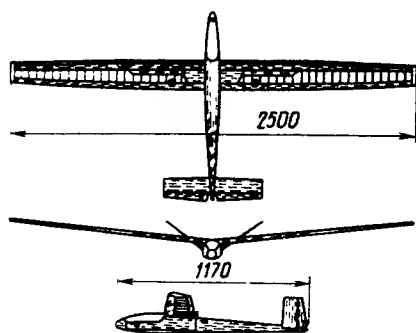


Рис. 130. Радиоуправляемая модель планера *Scirocco* с двумя толкающими воздушными винтами, установленными на задних краях крыльев

Длина фюзеляжа	1170 мм
Площадь крыла	42 дм ²
Полетная масса	1550—1750 г (в зависимости от оборудования)
Нагрузка на крыло	27 г/дм ²

При восьми никелево-кадмиевых аккумуляторах (1,2 А·ч) модель за 6 мин достигает высоты 400 м. Максимальная скорость подъема составляет 2,3 м/с, средняя — 1,9 м/с.

Благодаря хорошим аэродинамическим характеристикам (аэродинамическое качество 22, скорость снижения 0,45 м/с) модель *Scirocco* хорошо парит в восходящих потоках воздуха. Она может быть оборудована тормозными щитками для посадки в точно указанное место, а также для снижения при сильных выходящих потоках. Кроме того, на ней может быть установлен последовательно-параллельный переключатель. Если предполагаются длительные полеты в режиме парения, то для приемника с четырьмя сервомеханизмами рекомендуется устанавливать аккумулятор емкостью 500 мА·ч.

Первая модель с электродвигателем, выполненная Ф. Милитки в виде посылочного набора, — радиоуправляемая модель планера *Hi-Fly* (рис. 131) — появилась в 1973 г. На верхних поверхностях ее крыльев были установлены два двигателя *Jumbo 2000*, которые вращали толкающие складывающиеся винты. Характеристики модели:

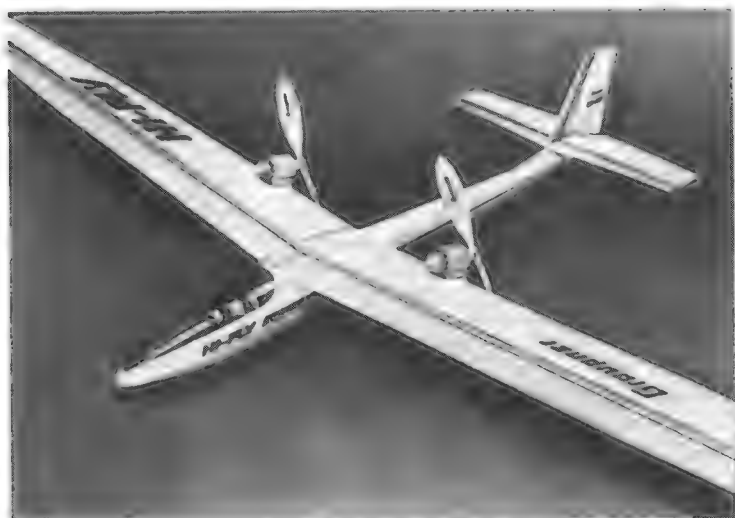


Рис. 131. Радиоуправляемая модель планера *Hi-Fly* с двумя толкающими воздушными винтами, установленными на задних кромках крыльев

Размах крыла	2300 мм
Длина фюзеляжа	1030 мм
Площадь крыла	40,0 дм ²
Полетная масса	1900 г
Нагрузка на крыло	41 г/дм ²

В последующем конструкция и элементы привода моделей улучшались.

На моделях планеров электропривод занял прочное место. Здесь постоянно реализуются новые оригинальные технические решения. Так, тормозные щитки и регулятор частоты вращения стали на этих моделях почти стандартным оборудованием. Для моделей планеров больших размеров успешно применяются модульные конструкции электропривода, для изготовления фюзеляжа используются армированные стекловолокном смолы, несущие поверхности выполняются из пенопласта с реечными усилениями. Эти модели имеют хорошие летные качества в широком диапазоне скоростей. Для точной посадки они оснащены тормозными щитками, а благодаря элеронам возможно выполнение простых фигур пилотажа. Грузоподъемность моделей позволяет им нести батарею из 10—12 аккумуляторов емкостью до 1,8 А·ч.

4.2. Модели самолетов

Многим моделистам полеты моделей планеров кажутся слишком медленными и они строят модели самолетов, т. е. модели летательных аппаратов, которые без работающего воздушного винта не могут парить. При этом разница между теми и другими моделями может быть почти незаметной. Так, модель планера с двигателем может, например, парить, когда он выключен, а при работе двигателя выполнять те же фигуры пилотажа, что и модели самолетов. Однако при сопоставлении некоторых характеристик хорошо видны существенные различия между моделями планеров и самолетов. Например, отношение статической тяги винта к массе модели у первых составляет 0,2—0,3, у вторых — 0,3—0,4; соответственно, нагрузка на крыло имеет значения 30 и 50 г/дм².

Хорошими летными качествами обладает модель самолета *Sky-Fly* (рис. 132), имеющая следующие характеристики:

Размах крыла	1250 мм
Длина фюзеляжа	850 мм
Площадь крыла	24 дм ²
Масса	1250 г
Нагрузка на крыло	45 г/дм ²

Электродвигатель *EFM2*, работающий от семи никелево-кадмиевых аккумуляторов (1,2 А·ч), развивает статическую тягу $F=4$ Н, что позволяет модели взлетать с ровного твердого по-

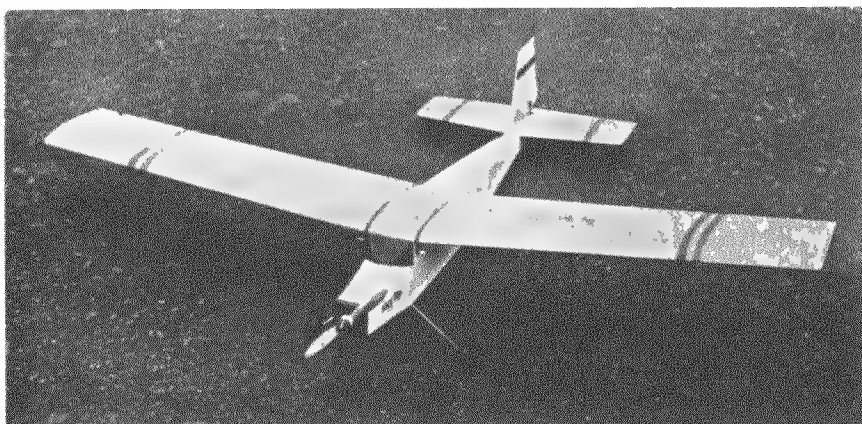


Рис. 132. Радиоуправляемая модель самолета *Sky-Fly*

крытия. Тяга достаточна для выполнения таких фигур пилотажа, как петля Нестерова, разворот и т. п. Но обычно модель запускают с руки, так как при старте с грунта расходуетя примерно 20 % емкости батареи, что заметно сказывается на времени полета. При старте с руки модель сильно бросают по горизонтали, после этого она должна некоторое время продолжать полет параллельно земле. И только после этого можно перейти к набору высоты.

На модели, рассчитанной на пуск с руки, можно пренебречь установкой шасси, которое утяжеляет модель и увеличивает лобовое сопротивление. Шасси не следует устанавливать также и в случаях, когда для посадки нет подходящего плоского газона или твердой дорожки. При их отсутствии модель с шасси чаще всего капотирует, посадка же «на брюхо» не создает никаких проблем, если нижнюю часть фюзеляжа усилить или предусмотреть на ней лыжу.

Компоновка модели *Sky-Fly* такова, что воздушный винт сидит непосредственно на валу электродвигателя (рис. 133). Так как модель летает с более высокой скоростью, чем модели планеров, воздушный винт работает при более высоких скоростях набегающего потока, т. е. в более благоприятных условиях. Поэтому его КПД значительно выше, чем у малоскоростных моделей. Тем не менее рекомендуется поэкспериментировать с различными винтами, чтобы найти оптимальный для конкретных условий полета.

Кроме того, выбор винта зависит и от особенностей пилотажа модели. При большом числе фигур время полета укорачивается, тяга же винта должна быть более высокой. На модели *Sky-Fly* в этом случае лучше установить винт 8×5 или 8×6 (расшифров-

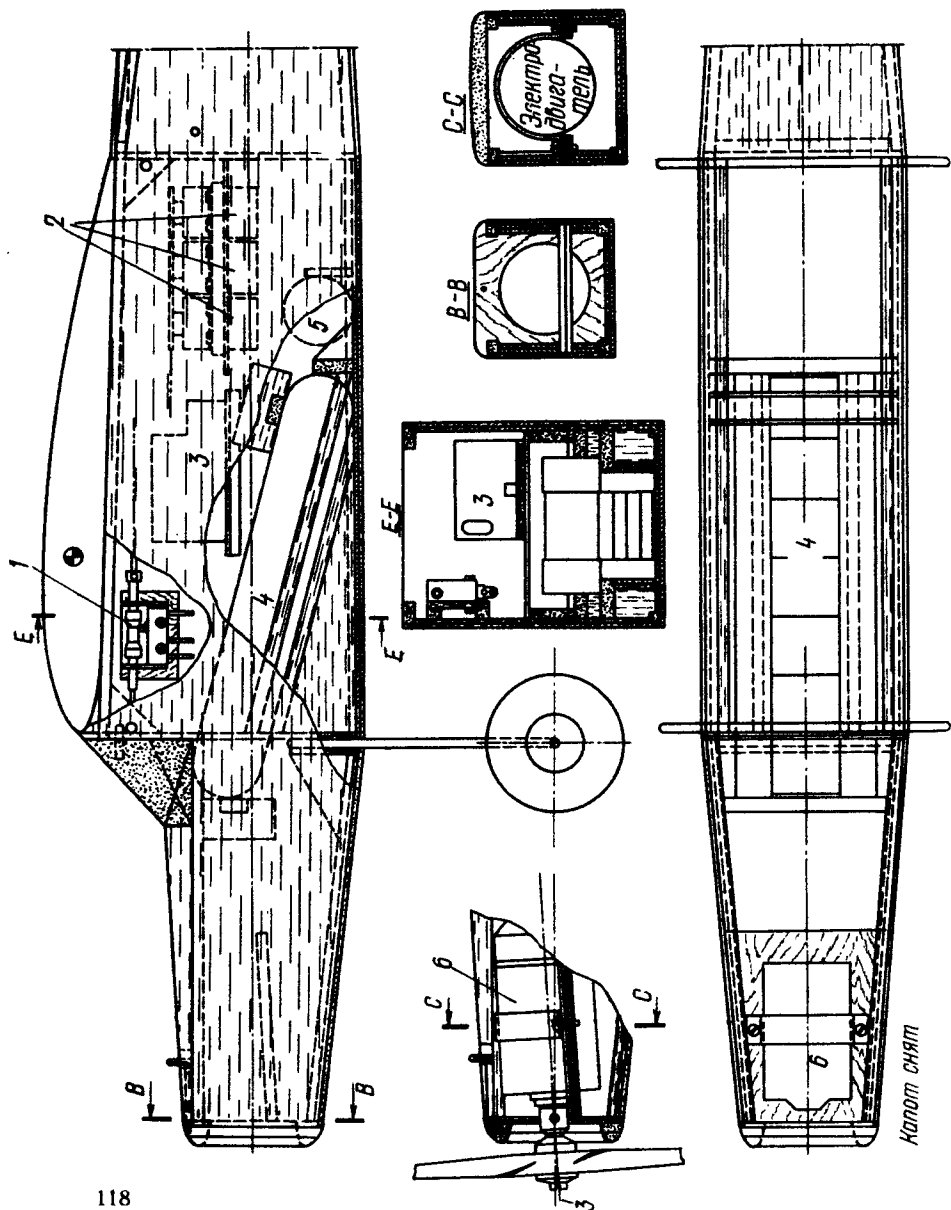


Рис. 133. Ком-
поновочный чер-
теж модели са-
молета *Sky-Fly*,
выпускаемой
фирмой *Multi-
plex*:

- 1 — переклю-
 тель режима ра-
 боты двигателя;
 2 — сервомеханиз-
 мы; 3 — приемник;
 4 — аккумуляторы
 7X1,2 А · ч хо-
 того двигателя;
 5 — аккумулято-
 ры приемника; 6 —
 ходовой электро-
 двигатель.

ку обозначения см. в разделе 5.2). Для «спокойного» пилотажа достаточно винта 8×4 , который меньше нагружает двигатель и его батарею и позволяет увеличить время полета по сравнению с винтом 8×6 на 1—2 мин (примерно до 7—8 мин). Скорость подъема с винтом 8×4 составляет 1 м/с.

Эта модель предназначена для начинающих моделестов, поэтому здесь велики резервы для усовершенствований. На ней без переделок можно установить батарею из восьми аккумуляторов (1,2 А·ч). Успешно опробован двухмоторный вариант, который выполнял петлю Нестерова, полет «на спине», переворот через крыло. Для модели с электродвигателем это немало.

Наклоны оси двигателя модели *Sky-Fly* в вертикальной и горизонтальной плоскостях относительно оси фюзеляжа, составляющие по 3° , лишь ненамного превышают соответствующие наклоны у моделей планеров. Место крепления воздушного винта на ступице ослаблено с таким расчетом, чтобы оно в случае аварии модели разрушалось в первую очередь и на двигатель не передавались нагрузки, воздействующие при этом на винт. Батарея для электродвигателя установлена в фюзеляже с наклоном, что позволяет легко вынуть ее для зарядки (рис. 134). При падении модели батарея смещается над двигателем, не повреждая его.

Команды управления передаются с помощью трех сервомеханизмов, два из которых отклоняют плоскости рулей высоты и руля направления, а третий включает и выключает двигатель. На модели установлен переключатель скорости. Свободный объем в модели позволяет установить при необходимости сервомеханизмы большей мощности.

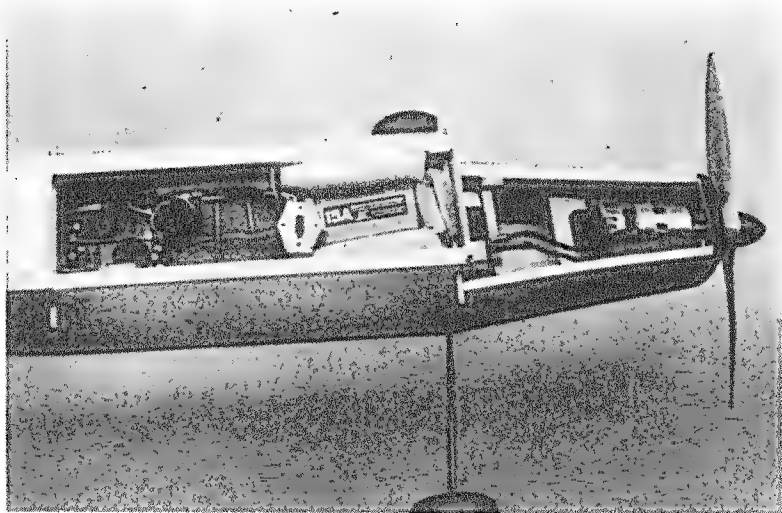


Рис. 134. Расположение привода на модели *Sky-Fly*

Все описанные здесь летающие модели (за исключением модели планера, показанной на рис. 116) собраны из бальсового дерева. Это дерево позволяет построить легкую, но достаточно прочную модель. Однако появились модели, фюзеляж и несущие поверхности которых изготовлены из пеноматериала. Они отличаются малой массой, достаточной прочностью и хорошим качеством поверхности. Из такого материала выполнена, например, летающая модель-копия *Sportavia RF5EP* (рис. 135), которую характеризуют следующие показатели:

Размах крыла	1770 мм
Длина фюзеляжа	932 мм
Площадь крыла	24,6 дм ²
Масса	980 г
Нагрузка на крыло	40 г/дм ²

По характеристикам эта модель может быть отнесена к моделям планеров с электродвигателем. Батарея (9,6 В/500 мА·ч) никелево-кадмиевых аккумуляторов (рис. 136) обеспечивает работу двигателя *RS-380 SE* в течение 4,5 мин, а время полета модели без использования восходящих потоков может достигать 10 мин. Эта модель служит примером не только применения современных материалов в авиамоделизме, но и того, что электродвигатель можно устанавливать и на радиоуправляемых моделях-копиях. Другими словами, область применения электроприводов на летающих моделях далеко не исчерпана. Опытными моделистами уже построены модели с электроприводом, выполняющие



Рис. 135. Радиоуправляемая модель планера *Sportavia RF5EP*

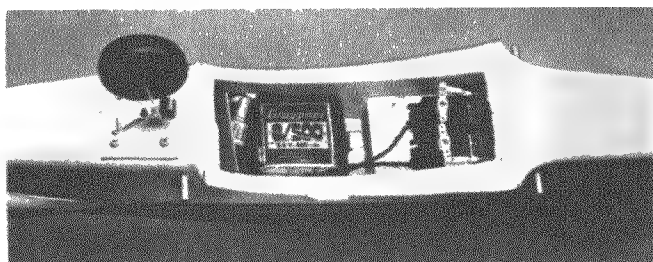


Рис. 136. Расположение привода в модели *Sportavia RF5EP*

все фигуры пилотажа. В 1977 г. модель Ф. Оффенбаха (ФРГ) развила скорость 189,65 км/ч. Появились большие модели планеров (с размахом крыла до 5 м), четырех- и даже шестимоторные модели-копии и т. д.

Возможности электропривода иллюстрируют и модели Ханса-Дитера и Томаса Левиных. Первый из них с помощью разработанных им моделей и посылочных наборов доказал, что радиоуправляемая модель с электродвигателем может летать так же хорошо, как и с двигателем внутреннего сгорания. На модели спортивного самолета *Sport 20* он вместо двигателя внутреннего сгорания с рабочим объемом 3,5 см³ установил электродвигатель EFM 4 и батарею из 14 никелево-кадмиевых аккумуляторов (1,2 А·ч) для него (рис. 137).

Модель характеризуют следующие показатели:

Размах крыла	1700 мм
Длина фюзеляжа	1060 мм
Площадь крыла	43,5 дм ²
Полетная масса	4370 г
Нагрузка на крыло	54,5 г/дм ²
Воздушный винт	9×5

Модель может взлетать с земли и выполнять простые фигуры.

Ханс-Дитер Левин экспериментировал также и в области оптимизации небольших летающих моделей с электроприводом. Он доказал, что возможна постройка комнатной радиоуправляе-

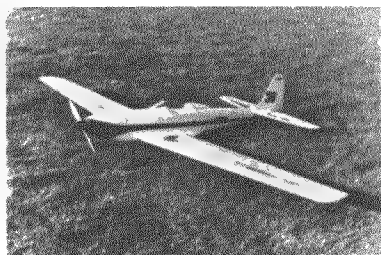


Рис. 137. Радиоуправляемая модель самолета *Sport 20*

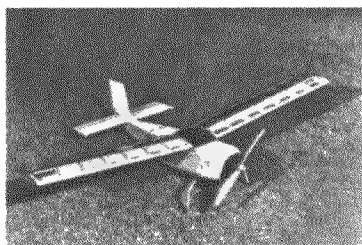


Рис. 138. Радиоуправляемая комнатная модель самолета *Mini-Spartz*

мой модели с таким приводом. В 1979 г. им построена модель *Mini-Spartz* (рис. 138), которую характеризуют следующие технические данные:

Размах крыла	630 мм
Длина фюзеляжа	472 мм
Масса	289 г
Нагрузка на крыло	32 г/дм ²
Воздушный винт	6×3

Двигатель *Mabuchi RS 36* массой 52 г работает от батарей из шести никелево-кадмиевых аккумуляторов (130 мА·ч) массой 65 г. Радиоаппаратура была облегчена, масса приемника без корпуса составила 30 г. Электрические соединения миниатюрных сервомеханизмов с приемником выполнены без штекеров, пайкой; масса каждого сервомеханизма 16 г. Масса электронного переключателя 15 г. Электропитание приемника осуществлялось от четырех никелево-кадмиевых аккумуляторов (60 мА·ч). После взлета с земли модель могла совершать до восьми кругов в спортивном зале.

К интересным экспериментам можно отнести модели с солнечными элементами. На модели *X2*, построенной Х. Шенком, эти элементы были уложены на верхнюю поверхность крыльев (рис. 4 и 139) и накрыты прозрачной пленкой. В 1977—1978 гг. Шенк экспериментировал с одно- и двухмоторными вариантами этой модели. В последних вариантах солнечные элементы приклеивались непосредственно к крыльям.

Иную конструкцию модели *Solar-Reiher*, также с солнечными элементами, выбрал Х. Брусс. В ней он использовал толкающие винты, имеющие более высокий КПД, и более легкое V-образное хвостовое оперение. Широкому распространению подобных экспериментов пока препятствуют еще довольно высокая стоимость солнечных элементов, их малая механическая прочность, низкий КПД, а также то, что их можно применять только при хорошем солнечном освещении и слабом ветре. При благоприятных условиях модель с солнечными элементами может набирать высоту со скоростью до 0,6 м/с. В 1979 г. модель Шенка *X4* продержалась в воздухе свыше 8 мин. Ее технические данные:

Размах крыла	2500 мм
Длина фюзеляжа	1130 мм
Площадь крыла	42,43 дм ²
Нагрузка на крыло	17,68 г/дм ²
Масса	845 г

Солнечные элементы (90 шт.), каждый площадью 50×50, обеспечивают работу электродвигателя с редуктором 5,8:1.



Рис. 139. Радиоуправляемая двухмоторная модель планера X2 с солнечными элементами

В этой главе рассмотрены зависимости, знание которых позволит моделисту сознательно подходить к расчету гребных винтов. Эти зависимости справедливы и для других винтов, в частности воздушных.

При повороте на один оборот винт развивает определенный упор, обеспечивающий движение модели, одновременно отбрасывая некоторое количество воды в противоположном направлении. При этом винт как бы проскальзывает в воде. Другими словами, путь, фактически проходимый винтом, меньше геометрически идеального пути.

Любая точка на конце лопасти (например, точка *A* на рис. 140, *a*) во время вращения винта описывает спиралеобразную кривую на поверхности цилиндра, диаметр которого равен диаметру винта, а ось совпадает с его осью. Если этот цилиндр развернуть на плоскость

(рис. 140, *б*), то для каждого винта можно определить три характеристические величины: длину ометаемой винтом окружности; шаг; путь, проходимый концом лопасти (на рис. 140 — точкой *A*).

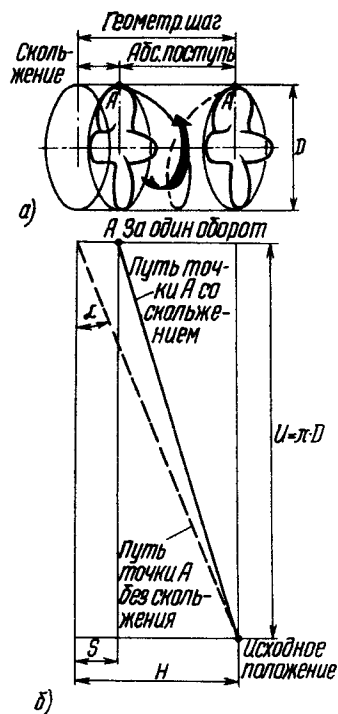


Рис. 140. Принцип действия винта

Разница между геометрическим шагом винта и абсолютной поступью, т. е. путем, фактически проходимым им, называется абсолютным скольжением:

$$S = H_{\text{геом}} - H_{\text{абс}}, \text{ м}, \quad (17)$$

где S — абсолютное скольжение, м; $H_{\text{геом}}$ — геометрический шаг, м; $H_{\text{абс}}$ — абсолютная поступь, м.

Скольжение представляет собой еще один важный параметр винта, указываемый в виде относительной величины в процентах:

$$S = 100 \left(1 - \frac{H_{\text{абс}}}{H_{\text{геом}}} \right), \% \quad (18)$$

Если модель при работающем винте стоит неподвижно, что на практике соответствует испытаниям на швартовах, то скольжение равно 100 %. Для повышения КПД винта стремятся уменьшить величину скольжения. Скорость модели можно найти по частоте вращения винта и абсолютной поступи с помощью формулы

$$v_M = \frac{H_{\text{абс}} n}{60}, \text{ м/с}, \quad (19)$$

где $H_{\text{абс}}$ — абсолютная поступь, м; n — частота вращения винта, мин⁻¹. Эта формула позволяет определить также абсолютную поступь винта при замере скорости модели и известной частоте его вращения.

Развертка цилиндра (рис. 140, б) дает возможность найти также угол α , на который должна быть развернута лопасть винта, чтобы за один оборот он прошел путь, равный геометрическому шагу $H_{\text{геом}}$. В дальнейшем этот шаг обозначается просто H .

Если угол наклона всех профилей лопасти сделать одинаковым, то при нулевом скольжении шаг каждого профиля был бы разным, а именно, пропорциональным его расстоянию от оси винта. Для того чтобы шаг всех профилей лопасти был одинаков, их закрутка — угол поворота относительно плоскости, перпендикулярной оси винта, — должна быть различной: конец лопасти разворачивается мало, корневые профили — сильно. Это хорошо видно на рис. 141. Поскольку шаг отнесен к длине окружности, описываемой концом лопасти $V = \pi D$, он не зависит от диаметра винта. Таким образом, из уравнения (19) можно найти:

$$H = \frac{v_M 6000}{n 6,28}, \quad (20)$$

где H — шаг винта, см; v_M — скорость модели, м/с; n — частота вращения винта, мин⁻¹.

Модель, масса которой равна m_M , для достижения скорости v_M должна получить импульс p_M :

$$p_M = v_M m_M. \quad (21)$$

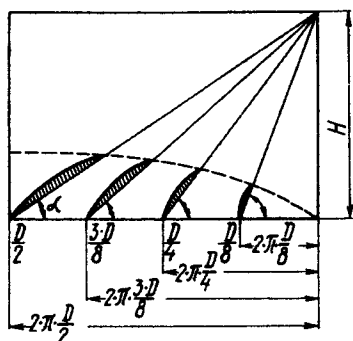


Рис. 141. Зависимость угла наклона сечения лопасти от шага и диаметра винта

В соответствии с законом сохранения импульсов этот импульс должен быть равен импульсу воды $\rho_{\text{вод}}$, ускоряемой винтом:

$$v_{\text{м}} m_{\text{м}} = v_{\text{вод}} m_{\text{вод}}, \quad (22)$$

где $v_{\text{м}}$ — скорость модели, м/с; $m_{\text{м}}$ — масса модели, г; $v_{\text{вод}}$ — скорость отбрасываемой винтом воды относительно окружающей воды, м/с; $m_{\text{вод}}$ — масса отбрасываемой воды, г. Кинетическая энергия воды, отбрасываемой винтом, равна

$$W_{\text{кин}} = \frac{m_{\text{вод}}}{2} v_{\text{вод}}^2, \quad \text{г} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2, \quad (23)$$

где $m_{\text{вод}}$ — масса воды, г; $v_{\text{вод}}$ — скорость воды, м/с.

Эта энергия представляет собой энергию вихря и, следовательно, теряется. Узкая движущаяся с большой скоростью струя воды вызывает более сильный вихрь и, таким образом, обуславливает более высокие потери, чем широкая медленная струя. Поэтому выгоднее применять медленно вращающийся винт большего диаметра, так как он отбрасывает большое количество воды (на авиамоделях — воздуха) с небольшим ускорением.

В соответствии с уравнением (19) для поддержания высокой скорости модели соответственно высокой должна быть частота вращения винта, так как шаг H можно увеличивать лишь до определенного предела. Таким образом, диаметр D и шаг H винта зависят не только от скорости модели, но также от крутящего момента и частоты вращения привода.

Как уже говорилось, угол поворота профиля сечения лопасти увеличивается от концевой кромки к корневой (см. рис. 141). Изменение этого угла называется круткой лопасти. У ступицы угол крутки настолько велик, что корневая часть лопасти располагается почти перпендикулярно направлению своего движения и, следовательно, не участвует в создании упора, но приводит к образованию сильного вихря. Поэтому углы, превышающие 60° , здесь

нецелесообразны. В соответствии с этим ступица большого диаметра предотвращает необходимость сильного разворота лопасти в ее корневой части. В качестве ориентировочного значения можно принять соотношение

$$D_{\text{ступ}} = 0,25 D_{\text{винт}}. \quad (24)$$

У винта диаметром 40 мм диаметр ступицы должен составлять примерно 10 мм. Ступицы меньшего диаметра приводят лишь к увеличению потерь. На воздушных винтах устанавливают коки, которые снижают аэродинамическое сопротивление.

5.1. Гребные винты

Гребные винты устанавливают в основном на моделях-копиях водоизмещающих судов и на глиссирующих моделях. Гребные винты моделей этих двух типов существенно отличаются друг от друга.

Лопасть гребного винта работает подобно крылу самолета (рис. 142). Упор винта, как и подъемная сила, возникает вследствие образования разрежения на стороне засасывания (верхняя на рисунке) и повышения давления на стороне нагнетания (нижняя). Чем больше эти разрежение и давление, тем больше упор. Засасывание дает примерно $2/3$, нагнетание, соответственно, $1/3$ упора.

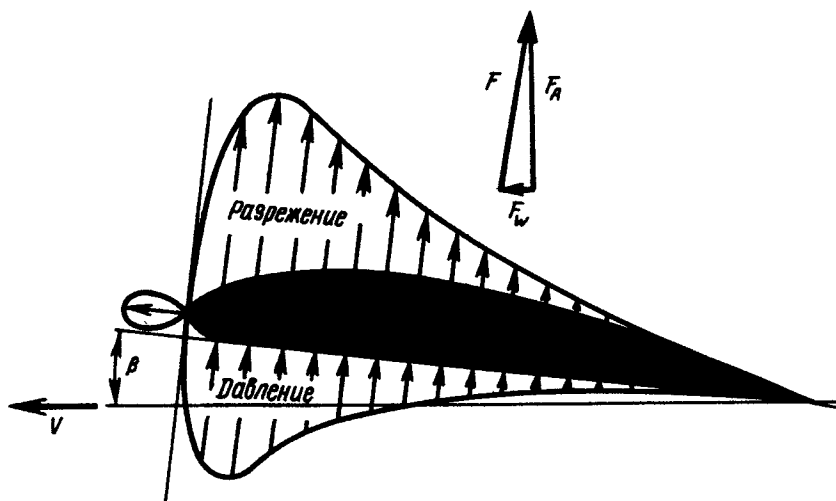


Рис. 142. Распределение сил, действующих на профиль лопасти

Насколько желательно получить как можно больший упор на лопасть, настолько отрицательным является разрежение. Это связано со свойством воды, которое вначале не принималось во внимание, а именно, ее кипение. Как известно из физики, при понижении давления температура кипения воды падает. Например, при давлении $0,24 \text{ Н/см}^2$ она кипит при температуре 20°C , при этом бурно образуются пузырьки газа. При высоких скоростях потока такое низкое давление развивается на лопастях винта уже при небольшой скорости его вращения. Образование пузырьков газа, выделяющегося вследствие разрежения, называется кавитацией. Ее зависимость от диаметра и частоты вращения винта представлена на рис. 143, кривые на котором рассчитаны для профиля, имеющего коэффициент подъемной силы 0,5.

Газовые пузырьки начинают образовываться в той области лопасти, где развивается самое низкое давление. При переходе этих пузырьков в область более высокого давления они сливаются вместе, образуя воздушную подушку, изменяющую геометрию лопасти. Кроме того, при конденсации газа в пузырьках они захлопываются, создавая «микровзрывы», разрушающие поверхность лопасти. Образование этих пузырьков требует затрат определенной энергии, которая отбирается от винта и уже не может быть использована для создания его упора. Таким образом, энергия кавитации является энергией потерь.

Но если возникновение кавитации зависит от распределения давления по поверхности лопасти, то очевидно, что можно выб-

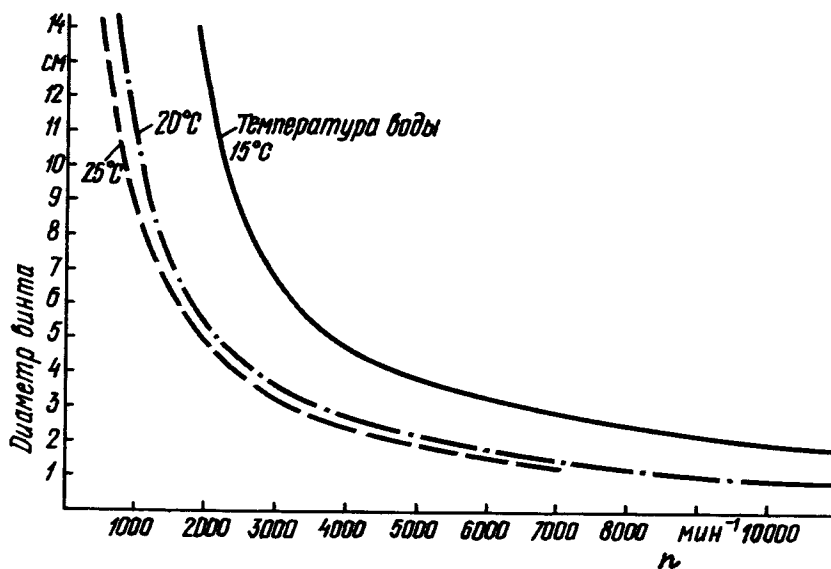


Рис. 143. Кривые кавитации

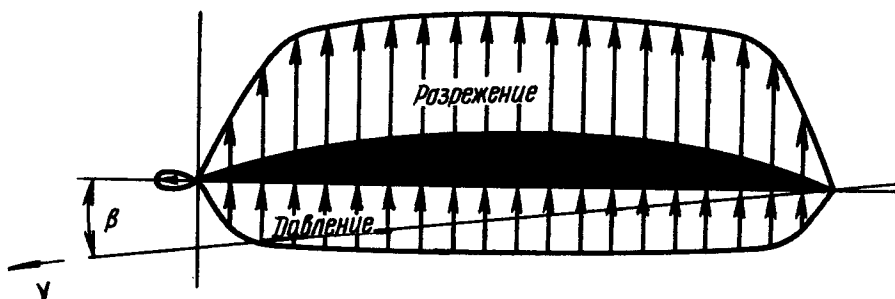


Рис. 144. Распределение давления на профиль лопасти

рать профиль, при котором равномерное распределение пониженного давления обеспечивает появление кавитации только при высоких частотах вращения винта. Такое равномерное распределение давления на нагнетающей и, что вернее, на засасывающей поверхности обеспечивает профиль с плоской нижней стороной и верхней стороной, образованной частью поверхности кругового цилиндра (рис. 144).

Знание физических явлений, обуславливающих появление кавитации, позволяет сделать некоторые практические выводы. Так, для водоизмещающих моделей следует выбирать двух- или трехлопастные винты, профиль поперечных сечений которых имеет выпуклость средней величины (рис. 145). Как правило, отношение шага к диаметру (относительная поступь) этих винтов равно $H/D=0,5$. Так как промышленность выпускает винты различных шагов и диаметров, правого и левого вращения, моделист имеет возможность подобрать для своей модели винт в соответствии с ее характеристиками (рис. 146).

Винты для глиссирующих моделей должны передавать воде

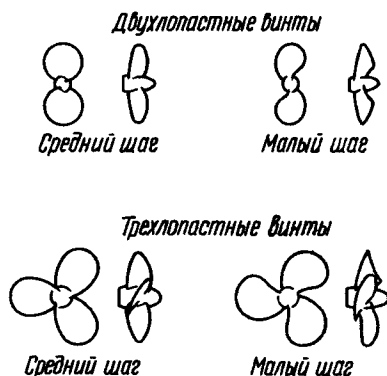


Рис. 145. Гребные винты для водоизмещающих моделей

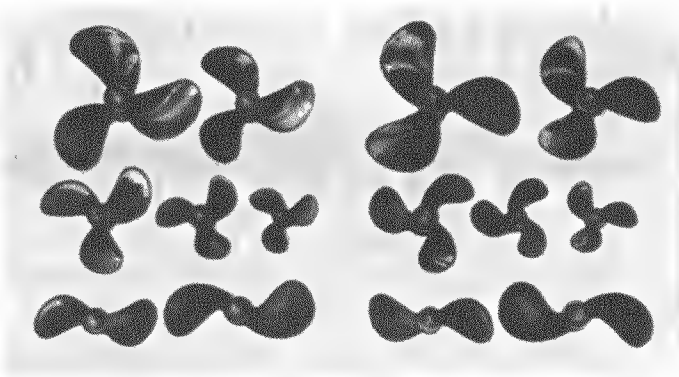


Рис. 146. Гребные винты различных диаметров, относительная поступь которых равна 0,5 (слева — левого, справа — правого вращения)

большее количество энергии по сравнению с винтами водоизмещающих моделей. Поэтому они имеют большой шаг, частота их вращения в большинстве случаев также велика. Выпуклость профилей мала, что способствует более позднему появлению кавитации. Лопастей винтов, работающих при больших частотах вращения, по форме отличаются от лопастей винтов, рассчитанных на малую частоту вращения (рис. 147).

Хотя в продаже имеются также винты различных размеров для быстроходных моделей (рис. 148), однако винты для моделей, предназначенных для достижения максимальных скоростей, моделисты должны рассчитывать сами. Эти гоночные винты имеют узкие лопасти эллипсовидной формы и плоский профиль.

Поскольку крутящий момент на такой винт передается непосредственно от двигателя, его шаг выбирают в зависимости от характеристик этого двигателя. На рис. 149 показаны винты для модели, построенной Л. Шраммом (см. рис. 76). Модель с винтом меньшего диаметра, предназначенного для тренировок, идет со сравнительно невысокой скоростью, благодаря этому двигатель и его аккумуляторы работают с меньшей нагрузкой, но более длительное время.

Угол β (см. рис. 142) представляет собой часто уже упоминавшийся угол атаки профиля. Наклон профиля к потоку под

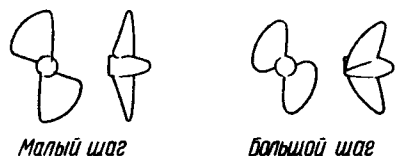
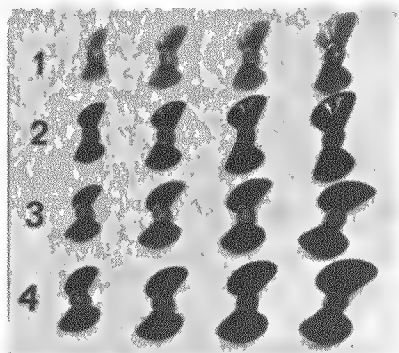


Рис. 147. Гребные винты для глиссирующих моделей

Рис. 148. Гребные винты различных диаметров для скоростных моделей:

1 — $H/D=0,75$; 2 — $H/D=0,85$ (для высоких частот вращения); 3 — $H/D=1,5$; 4 — $H/D=1,6$ (для низких частот вращения)



этим углом необходим для создания упора винта. Если этот угол слишком мал, то упор также мал; если же он превышает определенное значение, то поток срывается с поверхности лопасти и упор вновь снижается. Как показывает опыт, угол атаки должен составлять примерно $8-10^\circ$. На этот угол должен быть увеличен угол α , определяемый шагом винта и рассчитываемый в соответствии с уравнением (20) по частоте вращения винта и скорости модели.

Сказанное выше относилось к случаю потока, параллельного оси винта (рис. 150, а). Однако в большинстве случаев гребной вал и, следовательно, ось винта расположены под углом к направлению потока. При этом, чтобы сохранить условия работы винта, угол атаки его лопастей должен быть соответственно изменен. Это видно, например, на рис. 150, б, на котором угол атаки $\alpha + \beta$ уменьшен на угол наклона гребного вала γ . При этом упор лопасти, показанной на рисунке, сохраняется неизменным по сравнению с лопастями винта, направленного по потоку. Однако для второй лопасти этого винта корректировка угла ее атаки на угол γ приводит к снижению развиваемого ею упора, поскольку здесь лопасть развернута почти поперек к направлению ее вращения. При этом поток срывается с лопасти и ее упор уменьшается.

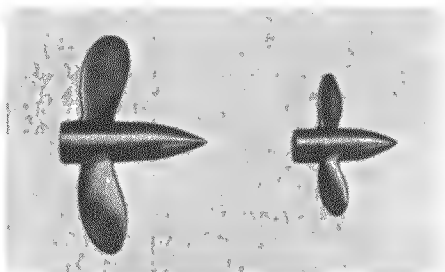


Рис. 149. Винты для модели класса F1-E1 кг

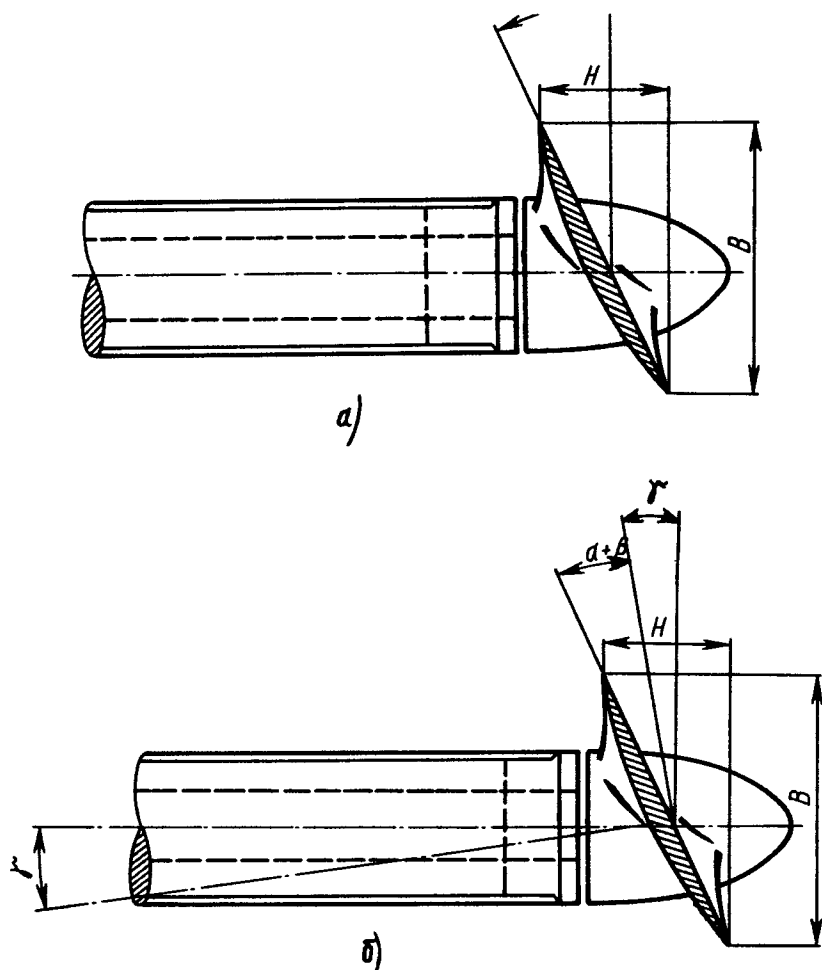


Рис. 150. Влияние наклона гребного вала:
 a — соосное обтекание винта; b — обтекание винта под углом

Оба отрицательных явления, связанных с наклоном оси гребного вала, а именно подъем кормы модели и изменение угла набегания потока на винт, накладываются друг на друга, увеличивая потери упора. С учетом сказанного следует стремиться к тому, чтобы угол наклона гребного вала к потоку не превышал $5-10^\circ$.

Как же рассчитать винт для модели? Х. К.-Дж. Бусше предложил метод расчета винта для водоизмещающей модели по основным размерениям и характеристикам ее прототипа. Поясним этот

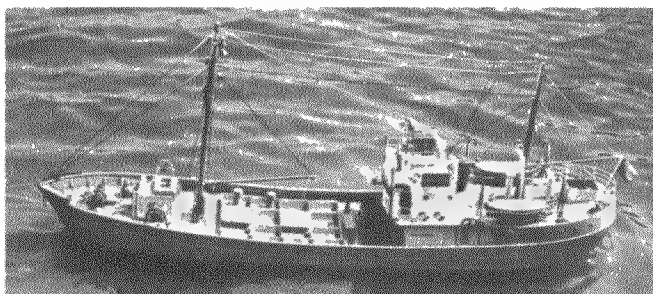


Рис. 151. Модель рыболовного траулера (класс F2)

метод на примере модели рыболовного траулера типа В-14 (рис. 151). Наибольшая длина его равна 59,23 м, дедвейт 500 т, мощность на гребном валу $P_{\text{пр}} = 1200$ л. с. (883 кВт). На траулере установлен один винт с числом лопастей, равным 3. Диаметр винта $D_{\text{пр}} = 3$ м, частота его вращения $n_{\text{макс}} = 225$ мин⁻¹. Максимальная скорость траулера $v_{\text{макс}} = 13,5$ узла = 6,75 м/с. Масштаб модели $M = 1:50$.

Расчет производится в такой последовательности:

1. Скорость модели:

$$v_{\text{м}} = \frac{v_{\text{макс}}}{\sqrt{M}} = \frac{6,75 \text{ м/с}}{\sqrt{50}} = 0,95 \text{ м/с.}$$

Полученное значение приблизительно соответствует указанному в табл. 3.1.

2. Мощность на гребном валу модели при подстановке $P_{\text{пр}}$ в кВт:

$$P_{\text{м}} = \frac{1360 P_{\text{пр}}}{\sqrt{M^7}} = \frac{1360 \cdot 1200}{\sqrt{50^7}} \approx 1,4 \text{ Вт.}$$

При подстановке $P_{\text{пр}}$ в л. с.

$$P_{\text{м}} = \frac{1000 P_{\text{пр}}}{\sqrt{M^7}}.$$

3. Диаметр винта модели:

$$D_{\text{м}} = \frac{1000 D_{\text{пр}}}{M} = \frac{1000 \cdot 3}{50} = 60 \text{ мм.}$$

4. Эффективная скорость модели с учетом скольжения винта:

в случае одновинтового судна

$$v_{\text{м,эфф}} = 0,80 v_{\text{м}} = 0,76 \text{ м/с;}$$

в случае двухвинтового судна следовало бы пользоваться формулой

$$v_{M_{\Phi\Phi}} = 0,9 v_m.$$

5. Коэффициент

$$Z = \sqrt[5]{\frac{D_m^2 v_{M_{\Phi\Phi}}^3}{P_{\text{пр}}}} = \sqrt[5]{\frac{60^2 \cdot 0,76^3}{1,4}} \cong 4,1.$$

С помощью диаграммы, приведенной на рис. 152, по значению этого коэффициента находим относительную поступь винта (при $Z=4,3$ $H/D=0,86$), КПД винта ($\eta=0,80$) и коэффициент ускорения ($\lambda=0,55$).

6. Частота вращения винта модели

$$n_M = \frac{6 \cdot 10^4 v_{M_{\Phi\Phi}}}{\lambda D_m} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 0,76}{0,55 \cdot 60} = 1380 \text{ мин}^{-1}.$$

Так как ходовой двигатель развивает номинальную мощность только при значительно более высоких частотах вращения, между ним и гребным валом необходимо установить редуктор.

При установке одноступенчатого редуктора и использовании дейдвудных подшипников мощность двигателя обычно принима-

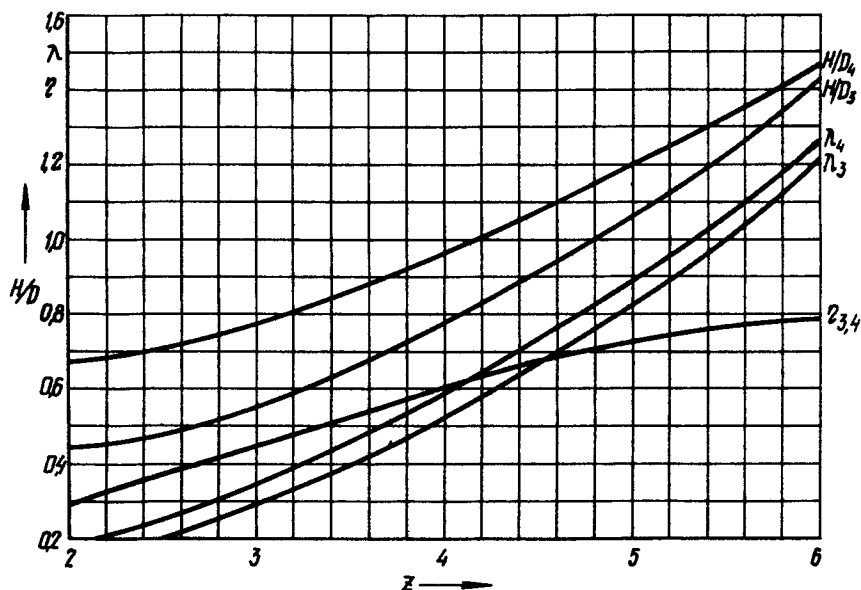


Рис. 152. Диаграмма для определения значений H/D , λ и η (индексы 3 и 4 указывают на кривые для трех- и четырехлопастных винтов соответственно)

ют равной $10 P_m$. В рассматриваемом примере на модели длиной 1,18 м без труда может быть установлен двигатель от автомобильного стеклоочистителя или подобный ему.

Первые ходовые испытания модели можно проводить с винтом, параметры которого ближе всего к расчетным. Однако в последующем следует целенаправленно изменять их для поиска винта, обеспечивающего оптимальные ходовые характеристики модели. Для правильного выбора привода модели необходимо знать силу тяги на швартовах, время прохождения дистанции известной длины, а также время работы двигателя между двумя зарядками аккумуляторов.

В процессе одного ряда измерений рекомендуется менять только один параметр — D , H/D или n . Если изменять сразу два параметра, останется неизвестным, какой эффект вызывает изменение каждого из них.

Из приведенного расчета видно, что винт модели-копии не может быть выдержан в том же масштабе по отношению к прототипу, как вся модель, если ходовые характеристики модели должны быть подобны соответствующим характеристикам этого прототипа.

По той же причине, по которой винт модели должен быть больше винта, размеры которого найдены в соответствии с ее масштабом, для обеспечения подобия маневренных свойств площадь руля модели должна быть больше площади «масштабного» руля. Этот факт учтен в правилах соревнований, в которых в отношении моделей класса F-2 (радиоуправляемые модели-копии) сказано: «Однако диаметр винта может быть увеличен максимум в 1,5, а площадь руля максимум в 2 раза по сравнению с размерами, рассчитанными по масштабу модели».

Требуемую частоту вращения винта, чаще всего более низкую по сравнению с частотой вращения ходового двигателя, обеспечивают с помощью редуктора. Его передаточное отношение i определяется номинальной частотой вращения двигателя $n_{\text{двиг}}$ и частотой вращения винта $n_{\text{винт}}$:

$$i = \frac{n_{\text{двиг}}}{n_{\text{винт}}}.$$

Если по каким-либо причинам на модели устанавливают редуктор для снижения частоты вращения гребного винта, то диаметр нового винта пересчитывают, пользуясь следующей приближенной формулой:

$$D_{\text{ред}} = D_{\text{прям}} \sqrt{i}, \quad (31)$$

где $D_{\text{ред}}$ — диаметр нового винта, приводимого во вращение через редуктор; $D_{\text{прям}}$ — диаметр винта, гребной вал которого соединен непосредственно с валом двигателя.

Максимальный КПД гребного винта достигается только при определенном направлении и оптимальной частоте его вращения. Однако для судов отдельных типов, таких как буксиры, рыболовные траулеры, плавучие краны, более выгодно изменять величину и направление упора винта без изменения частоты и направления его вращения. Это позволяет осуществлять винт регулируемого шага (ВРШ), у которого можно изменять в соответствии с требуемыми ходовыми характеристиками угол поворота и, следовательно, шаг лопастей. Замена винта обычной конструкции (винта фиксированного шага) на ВРШ не нужна для улучшения ходовых качеств модели, поскольку современная электронная аппаратура позволяет без труда изменять направление и частоту вращения электродвигателя, установленного на модели. Однако, чтобы повысить точность воспроизведения ходовых характеристик прототипа, такие винты иногда делают.

Ниже для примера описаны две конструкции ВРШ, используемые на моделях судов. Относительной простотой отличается двухлопастной ВРШ, разработанный Х. Швейцером (рис. 153). Внутри полого гребного вала скользит штанга, на конце которой внутри ступицы винта закреплена пластинка с двумя припаянными к ней зубчатыми рейками. В корневых частях лопастей предусмотрены шестерни, поворачивающиеся вместе с этими лопастями при продольном перемещении зубчатых реек. При полном

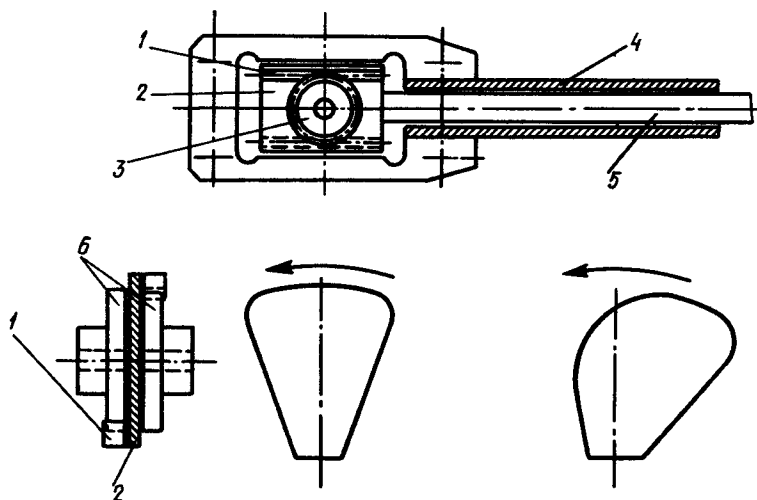


Рис. 153. Винт регулируемого шага (ВРШ) с зубчатыми рейками:
1 — зубчатая рейка; 2 — пластинка; 3 — лопасть; 4 — дейдвудная труба; 5 — штанга; 6 — зубчатое колесо

перемещении реек вместе со штангой лопасти поворачиваются на угол $\pm 45^\circ$. Благодаря этому с помощью сервомеханизма, обеспечивающего перемещение штанги в обе стороны, возможен поворот лопастей на любой угол в диапазоне между крайними положениями «Полный вперед» и «Полный назад». Недостатком этой простой конструкции является то, что винт здесь может иметь только две лопасти.

ВРШ, разработанный Х. Клеем (рис. 154), может быть оснащен двумя, тремя и более лопастями, перекладка которых осуществляется также штангой, идущей через полый гребной вал. На конце этой штанги, входящем в ступицу винта, закреплена кулиса, по канавкам которой скользят эксцентрично расположенные цапфы лопастей. Поворот лопастей осуществляется при смещении цапф кулисой. В случае двухлопастного винта кулиса имеет две канавки для цапф, расположенные под углом 180° друг к другу. В трехлопастном винте кулиса имеет вид трехгранной призмы, при большем числе лопастей число граней кулисы соответственно увеличивается. Штанга перемещается с помощью

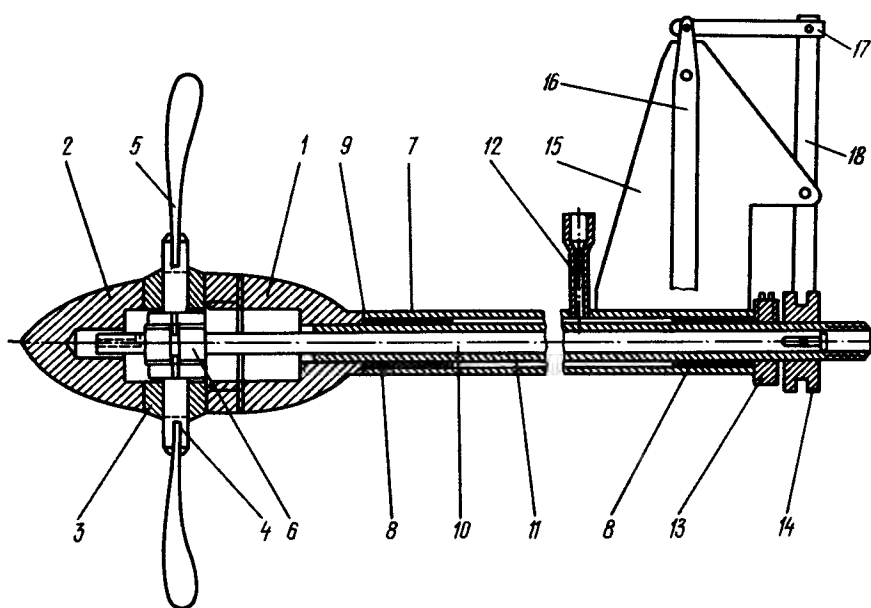


Рис. 154. Винт регулируемого шага (ВРШ) с кулисой:

1, 2 — разъемная ступица; 3 — подшипник для цапфы лопасти; 4 — цапфа лопасти; 5 — лопасть; 6 — кулиса; 7 — дейдвудная труба; 8 — дейдвудный подшипник; 9 — резиновое кольцо; 10 — штанга; 11 — гребной вал; 12 — масленка; 13 — распорное кольцо; 14 — регулировочное кольцо; 15 — пластина для крепления рычажной системы; 16, 17, 18 — рычажная система для перестановки штанги

штифта, скользящего в продольном отверстии полого вала и сидящего в регулировочном кольце. Эта конструкция позволяет заменить лопасти сменными, вворачивающимися в цапфы.

Форма и размеры лопастей определяются назначением винта. Так, для модели, направление движения которой должно изменяться, наилучшими являются лопасти симметричной формы. При необходимости получения большого упора необходимо увеличивать соответственно площадь лопастей винта. Возможность их смены позволяет экспериментально найти оптимальную форму и размеры лопастей для каждого конкретного случая применения модели. Все детали ВРШ изготавливаются из нержавеющей стали; полость в ступице заполняется маслом для водяных насосов. Для смазки и уплотнения подшипников дейдвудную трубу заполняют жидким маслом или консистентной смазкой, для чего предусмотрена специальная масленка.

Однако ВРШ, показанный на рис. 154, имеет и определенные недостатки. Так, при перемещениях управляющей штанги на равные расстояния углы поворота лопастей не одинаковы в зависимости от их положения, а усилия, необходимые для этих перемещений, возрастают при увеличении угла поворота лопастей. Кроме того, при повороте лопастей в сторону их положения, соответствующего команде «Полный вперед», требуемое для этого усилие сервомеханизма снижается благодаря действию гидродинамических сил. Эти же силы противодействуют повороту лопастей в обратную сторону. Угол поворота лопастей в ВРШ такой конструкции не должен превышать 40° , так как при больших углах совместное действие гидродинамических сил и сил, требуемых для поворота лопастей, может привести к блокировке винта.

Несколько слов о выборе винтов для глиссирующих моделей. Наиболее приемлем для этих моделей метод экспериментального подбора винта. Содержание гл. 3 и 5 показывает, что в случае глиссирующих моделей при выборе винта должно быть точно учтено влияние нескольких факторов, если необходимо получить оптимальные ходовые качества модели. Ниже такой выбор пояснен на примере модели класса F1—E1 кг.

Швартовные испытания. Тяга на швартовах и ток, потребляемый двигателем при номинальном напряжении, измеряли для серии винтов различных диаметров (20, 25, 30 и 35 мм), но с различной относительной поступью (от 0,5 до 0,75). Полученные результаты вносили в протокол. Так как измерения проводились кратковременно (до 30 с), ток двигателя мог повышаться до значений, в 1,5 раза превышающих номинальный ток. Для ходовых испытаний был выбран винт, при использовании которого ток двигателя составлял 100—120 % его максимального значения. При повышении частоты вращения во время глиссирования модели ток падал на 20—30 %.

Ходовые испытания проводили на защищенной от ветра акватории, течение в которой отсутствует. Дистанцию обо-

значали двумя или тремя буйками (см. рис. 46). На воде в первую очередь корректировали положение центра тяжести модели и опробовали ее при ходе в поворотах. Добившись полного подчинения модели командам, переходили к измерениям, которые выполняли с помощником.

При проведении ходовых испытаний придерживаются следующих правил: во-первых, все результаты измерений и изменений, вносимых в модель, тщательно протоколируют; во-вторых, при каждом заезде изменяют только один какой-либо параметр и исследуют влияние этого изменения. Первые измерения проводят с винтом, выбранным в результате испытаний на швартовах. Затем можно изменять диаметр винта, и только в следующей серии испытаний можно исследовать влияние изменения шага винта.

После каждой серии измерений проверяют температуру двигателя и аккумуляторов. Если допускаемые значения этих температур (см. гл. 7 и 9) превышены, это является верным признаком того, что диаметр и шаг винта или оба эти параметра вместе слишком велики. Необходимо учитывать также, что нагрев двигателя и аккумуляторов зависит от времени работы и охлаждения.

Оптимизация винта должна производиться для конкретных условий, которые, например, для модели класса F1—E1 кг (время хода 30 с) совсем другие, чем для глиссирующей модели-копии, находящейся на дистанции в течение 10 мин.

Если мощность привода глиссирующей модели повышается, например, путем увеличения числа аккумуляторов или установки более мощного двигателя, то при этом изменяются крутящий момент и частота вращения винта. Значит, требуются новые испытания, которые нужно проводить со вновь рассчитанным винтом.

Вихри, вызываемые работой винта, сильно увеличиваются, если винт несимметричен. Это может иметь место при смещении отверстия для гребного вала в его ступице, разной длине и форме лопастей и т. д. При этом резко возрастают потери, которые могут свести на нет все усилия, направленные на повышение мощности привода. Поэтому перед установкой винта на модель необходимо тщательно проверять качество его изготовления. Особенно это касается самодельных винтов.

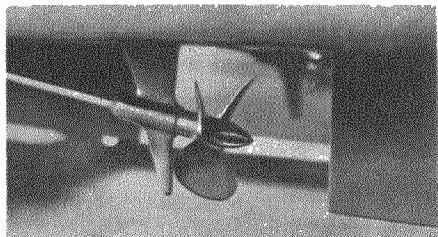


Рис. 155. Винт, выполненный в полном соответствии с винтом прототипа



Рис. 156. Винт на модели, построенной из посылочного набора

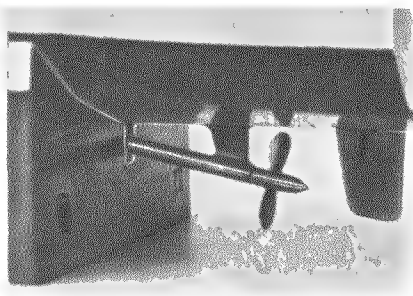


Рис. 157. Винт на модели класса F1-E1 кг

Винт, установленный на модели-копии и выполненный в полном соответствии с особенностями его конструкции на прототипе, показан на рис. 155. На модели, построенной из посылочного набора, ставят винты промышленного изготовления (рис. 156). На скоростных моделях ставят винты, отличающиеся узкими лопастями и слабо выгнутым профилем (рис. 157).

5.2. Воздушные винты

Само собой разумеется, что все сказанное выше о гребных винтах для моделей судов и кораблей справедливо и для воздушных винтов моделей летательных аппаратов.

Воздушные винты, как и гребные, также можно разбить на две группы: для малоскоростных (планеров) и скоростных (кордовых, гоночных, скоростных) авиамodelей.

Для расчета винтов малоскоростных моделей справедливы уравнения (22) и (23). Как и гребной, воздушный винт имеет высокий КПД при низких скоростях полета, если для создания тяги назад отбрасывается небольшое количество воздуха с малой скоростью. Поэтому здесь целесообразны винты большого диаметра, вращающиеся с низкой частотой.

Как уже было сказано в главе 4, на моделях планеров устанавливают специальные складывающиеся винты. Они работают с частотой вращения от 2500 до 5000 мин⁻¹. Это означает, что частоту вращения двигателя, составляющую от 8000 до 20 000 мин⁻¹, необходимо снижать с помощью редуктора. Уменьшение общего КПД примерно на 5 % при установке редуктора высокого качества компенсируется за счет увеличения диаметра винта.

На рис. 158 показаны складывающиеся винты для описанных моделей *Mosquito* и *Elektro-Baby*. Первый из них имеет диа-

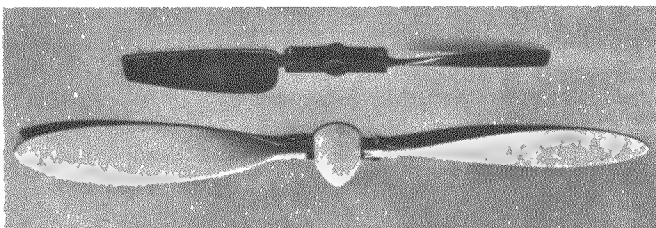


Рис. 158. Складывающиеся воздушные винты для моделей планеров *Mosquito* (вверху) и *Elektro-Baby* (внизу)

метр 370 мм и массу 23 г. Шаг около 300 мм рассчитан специально для двигателя *Jumbo 540 FG 6* с редуктором (передаточное отношение 6:1). При частоте вращения 2250—2500 мин⁻¹ винт развивает статическую тягу 3,6—4,7 Н. Диаметр винта для модели *Elektro-Baby* равен 225 мм, масса 5 г. Шаг рассчитан на вращение от двигателя *EFM-Super* через редуктор с передаточным отношением 5:1. Статическая тяга при частоте вращения 4000—4500 мин⁻¹ составляет 2—2,3 Н.

Для высокоскоростных моделей применяют цельные винты меньшего диаметра, приводимые во вращение непосредственно двигателем, т. е. без редуктора. КПД таких винтов относительно высок. Здесь могут быть использованы воздушные винты, предназначенные для установки на моделях с двигателями внутреннего сгорания (рис. 159 и 160).

На предлагаемых промышленностью воздушных винтах ставится специальная маркировка. Чаще всего она имеет вид двух пар цифр, например 20×10/8×4 (рис. 161). Первые две цифры указывают диаметр и шаг винта в сантиметрах, вторые две — в дюймах (1 дюйм равен 2,54 см).

Винты одного диаметра и шага могут отличаться формой ло-

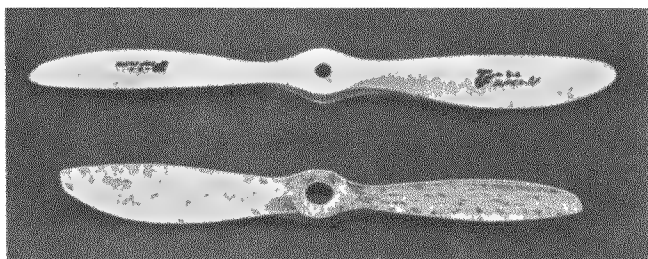


Рис. 159. Деревянные воздушные винты для установки непосредственно на вал двигателя

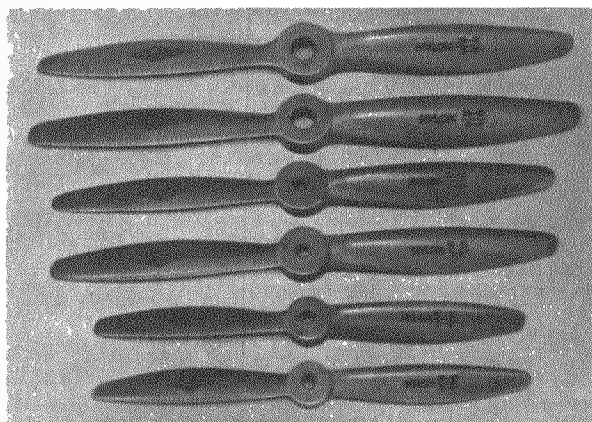


Рис. 160. Пластмассовые воздушные винты, предназначенные для установки непосредственно на двигатель и имеющие различные диаметр и шаг

пастей и иметь различные профили (рис. 162), что позволяет выбрать наиболее подходящий винт для конкретных условий полета. При этом первые полеты следует проводить с рекомендуемым винтом, заменяя его затем другими, близкими по параметрам, и фиксируя при этом изменения параметров полета.

Вначале проводят испытания на стенде. Следует учитывать, что у скоростных авиамоделей, особенно с воздушным винтом малого диаметра, установленным на вал двигателя, разница между статической тягой и тягой при номинальной скорости полета модели больше, чем у моделей судов и кораблей.

Выше речь шла о выборе воздушного винта, оптимального для какого-то одного режима полета. Однако, например, винты пилотажных моделей работают в различных режимах, зависящих от условий взлета, посадки и выполняемых фигур. На авиамоделях в этом случае устанавливают ВРШ, как и на моделях судов, эксплуатация которых требует и развития большого упора на малых скоростях хода, и высокого КПД винта при ходе с большой скоростью. Преимущество ВРШ заключается в возможности ис-

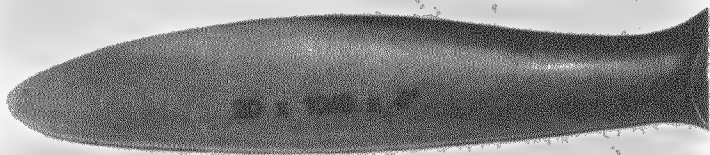


Рис. 161. Обозначение параметров воздушного винта на его лопасти

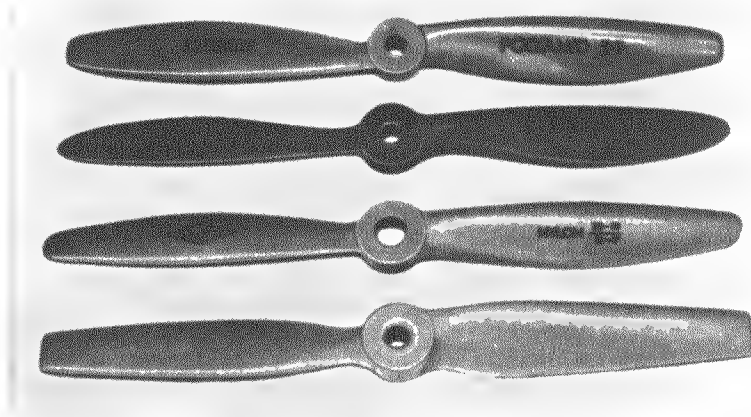


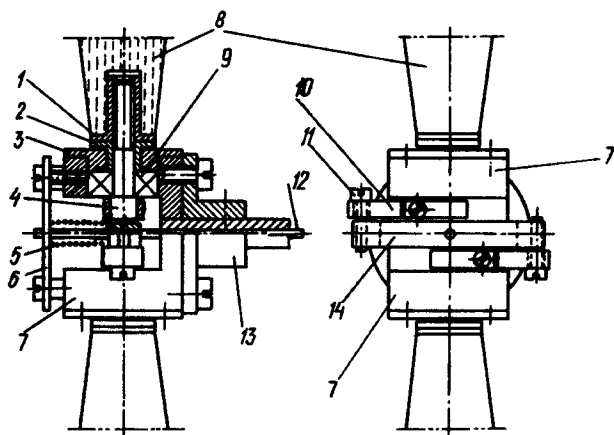
Рис. 162. Воздушные винты одинакового диаметра и шага, но с лопастями различной формы и профиля

пользовать свойство электродвигателей достигать максимальных мощности и КПД в узком диапазоне частот вращения. Изменяя скорость полета с помощью ВРШ, можно сохранять частоту вращения двигателя постоянной, соответствующей оптимальному режиму его работы. Кроме того, масса ВРШ меньше, чем электронного регулятора частоты вращения.

ВРШ, разработанный К. Шреклингом для авиамодели, с которой он выступал на чемпионате мира 1979 г. (рис. 163), снабжен механизмом поворота лопастей, позволяющим изменять их шаг в пределах 20 см и подобным кривошипной передаче. П-об-

Рис. 163. Винт регулируемого шага (ВРШ) для авиамодели с электродвигателем:

1 — резьбовая втулка; 2 — центрирующая втулка; 3 — фланец; 4 — палец; 5 — пружина сжатия; 6 — пластина (на виде спереди снята); 7 — корпус; 8 — лопасть; 9 — подшипник; 10 — рычаг; 11 — винт; 12 — управляющая тяга; 13 — фланец для крепления винта на валу электродвигателя; 14 — вилка



разный корпус через фланец крепят непосредственно к полуму валу электродвигателя. Для точной центровки лопастей в корпусе установлены специальные втулки, каждая из которых, в свою очередь, запрессована во фланец, закрывающий отверстие для подшипника лопасти. Эти подшипники необходимы для снижения усилий поворота лопастей, возрастающих при вращении винта. Развивающиеся при этом центробежные силы достигают 100 Н. Лопасть навинчена на палец, для чего в нее вклеена резбовая втулка. С концом пальца, выходящим внутрь корпуса, жестко соединен рычаг, причем это соединение имеет вид клеммового, что позволяет юстировать исходное положение лопасти. Другой конец рычага шарнирно через винт закреплен на вилке, жестко сидящей на управляющей тяге, которая проходит через полый вал электродвигателя и перемещается сервомеханизмом. На модели К. Шреклинга сервомеханизм мог производить эти перемещения только в одну сторону. Для обратного поворота лопастей предназначена пружина сжатия, один из концов которой опирается в специально предусмотренную для этого пластину. Пружина обеспечивает также постоянное силовое замыкание тяги с сервомеханизмом.

В качестве лопастей винта были использованы лопасти винтов промышленного изготовления диаметром 25 и шагом от 15 до 24 см. Латунные втулки в них вклеивались с помощью специальной оправки, что обеспечивало полную симметрию их установки.

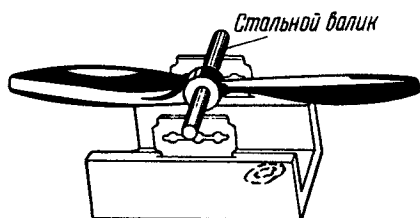
Однако поскольку геометрию лопастей ВРШ во время полета изменить нельзя, они являются оптимальными лишь для одной определенной частоты вращения, а на всех других частотах КПД винта падает. Поэтому диаметр винта, форму и профиль лопастей выбирают экспериментально.

Винт представляет собой конструкцию, вращающуюся с большой скоростью, и даже небольшое нарушение балансировки может привести к сильным вибрациям всей модели. Вибрация сильно повышает аэродинамическое сопротивление, снижает КПД двигателя и может привести к разрушению модели. Поэтому даже слегка искривленную ступицу или лопасть необходимо сразу же заменять новой.

Статическую балансировку воздушного винта осуществить довольно просто. Для этого его плотно насаживают на прямой стальной валик, концы которого укладывают на две направляющие, горизонтальность которых следует проверить с помощью «уровня». В качестве направляющих можно использовать два бритвенных лезвия (рис. 164). Если винт занимает положение покоя, отличающееся от горизонтального, то с опущенной вниз лопасти снимают стружку до тех пор, пока она сможет сохранять горизонтальное положение.

Мощный электропривод равно пригоден для модели как самолета, так и судна. При этом, если этот привод опробован на

Рис. 164. Статическая балансировка воздушного винта



летающей модели, а затем должен быть переставлен на глиссирующую модель, то по формуле

$$D_{г.в} = 1/8 D_{в.в} \quad (32)$$

(где $D_{г.в}$ — диаметр гребного винта; $D_{в.в}$ — диаметр воздушного винта) можно быстро определить диаметр гребного винта по оптимальному диаметру воздушного винта. Форма, профиль и шаг лопастей гребного винта должны затем подбираться в дальнейших экспериментах.

На моделях судов, летательных аппаратов, а иногда и автомобилей для передачи усилий используются валы, муфты и редукторы. Они должны обладать: максимальной простотой, минимальными потерями и необходимой прочностью.

6.1. Валы

Валы для передачи усилий наиболее часто применяют на моделях судов и кораблей. На моделях автомобилей они обычно не нужны, а на моделях летательных аппаратов их устанавливают для сохранения аэродинамически выгодной формы элементов (см. рис. 123). Что же касается моделей судов, то для передачи крутящего момента на гребной винт без вала не обойтись. Уже давно оправдала себя конструкция предназначенной для этого дейдвудной трубы, через которую проходит гребной вал, установленный на дейдвудных подшипниках. В простейшем случае стальной гребной вал укладывают на бронзовые или латунные подшипники скольжения (рис. 165). Для плавного обтекания диаметр дейдвудной трубы должен быть равным диаметру ступицы винта. Ступенчатый переход между ступицей и дейдвудной трубой приводит к сильному вихреобразованию и повышению гидродинамического сопротивления модели. Кроме того, если диаметр дейдвудной трубы больше диаметра ступицы, разрежение за кормовым дейдвудным подшипником может вызвать подсос воды внутрь трубы, а через нее в модель. Это особенно опасно для радиоуправляемых моделей, так как даже несколько капель воды могут нарушить работу радиоаппаратуры.

В самом простом случае для предотвращения попадания воды внутрь модели длинной трубе можно придать наклон, чтобы ее носовой подшипник находился выше ватерлинии. Но в боль-

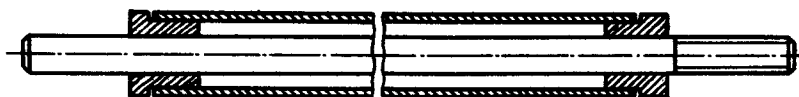
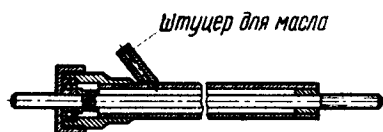


Рис. 165. Простейшая дейдвудная труба с двумя подшипниками

Рис. 166. Дейдвудная труба с шариковым подшипником со стороны двигателя



шинстве случаев это невыполнимо из-за того, что высокое расположение электродвигателя и редуктора существенно снижает остойчивость модели, а очень длинный гребной вал при большом числе оборотов вызывает значительные потери мощности. Валы диаметром 3 мм можно применять только для винтов с низкой частотой вращения, их длина не должна превышать 150 мм. Лучше использовать валы диаметром 4—5 мм. При появлении колебаний гребного вала можно установить средний дейдвудный подшипник.

Все трубы, расположенные ниже ватерлинии и выходящие в воду, должны быть надежно уплотнены. Простым и оправдавшим себя способом уплотнения является заполнение трубы жидким маслом. Для этого на ней предусматривают специальный штуцер, на который надевают кусок пластиковой трубки, используемой для контроля уровня масла. Чтобы утечка масла не была слишком большой, зазоры в подшипниках должны быть минимальны. Еще лучше набить трубу консистентной смазкой для водяных насосов, что позволяет избежать загрязнения маслом модели воды. С несколько повышенным по сравнению с наполнением жидким маслом трением в этом случае вполне можно мириться. Набивку дейдвудной трубы консистентной смазкой производят через специальный штуцер (рис. 166).

Для изготовления подшипников используют бронзу или латунь, еще лучше применять для этого самосмазывающиеся подшипниковые материалы, такие как бронзокерамика и тефлон. Чтобы снизить трение, целесообразно применять шариковые подшипники. Такой подшипник без труда можно установить со сто-

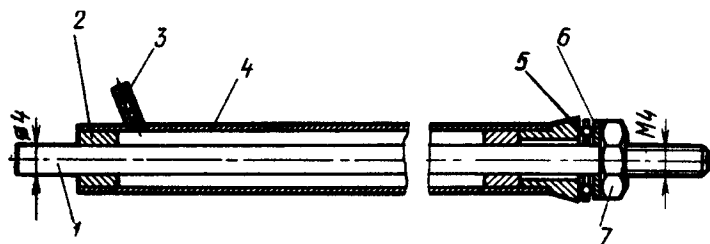


Рис. 167. Дейдвудная труба с упорным шариковым подшипником со стороны двигателя:

1 - гребной вал; 2 - подшипник скольжения; 3 - штуцер для масла; 4 - дейдвудная труба; 5 - упорный шариковый подшипник; 6 - стальная шайба; 7 - гайка

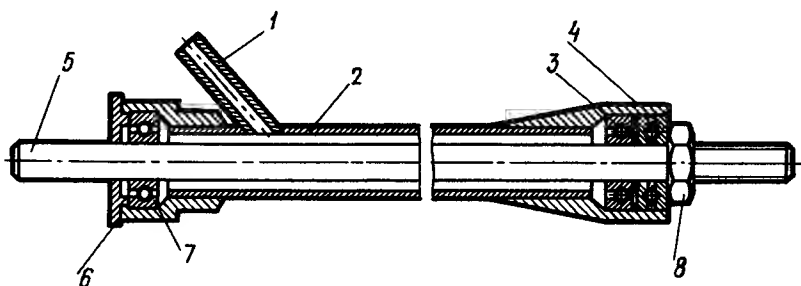


Рис. 168. Дейдвудная труба с тремя шариковыми подшипниками:
1 — штуцер для масла; 2 — дейдвудная труба; 3 — радиальный подшипник; 4 — упорный подшипник; 5 — гребной вал; 6 — крышка; 7 — радиальный подшипник со стороны двигателя; 8 — гайка

роны двигателя в дейдвудной трубе на модели класса F1-E1 кг (рис. 166).

Для передачи упора, развиваемого винтом, на корпус модели в выточку на гребном валу, расположенную между ступицей винта и кормовым концом дейдвудной трубы, можно установить пружинную шайбу. Еще лучше на носовом конце трубы поставить упорный шарикоподшипник (рис. 167).

Сложную конструкцию с тремя шарикоподшипниками целесообразно использовать лишь на больших глиссирующих моделях, например класса F1-Есв. 1 кг или FSR (рис. 168). Развиваемый винтом упор воспринимается упорным подшипником. Однако шарикоподшипник может быть установлен только при достаточно большом диаметре дейдвудной трубы. Если диаметр трубы не позволяет установить шариковый подшипник, его заменяют игольчатым (рис. 169).

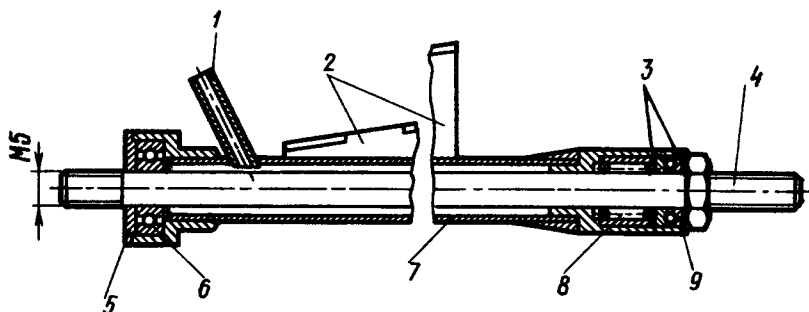


Рис. 169. Дейдвудная труба с тремя подшипниками:
1 — штуцер для масла; 2 — угольник для крепления дейдвудной трубы в корпусе модели; 3 — стальные шайбы; 4 — гребной вал; 5 — крышка; 6 — радиальный шариковый подшипник со стороны двигателя; 7 — дейдвудная труба; 8 — игольчатый подшипник; 9 — упорный шариковый подшипник

Валы, подшипники и дейдвудную трубу изготавливают из нержавеющей материалов.

6.2. Муфты

Под муфтой здесь понимается разъемное соединение между двигателем и валом. Кроме выполнения этой задачи муфты на моделях компенсируют угловые отклонения между осями двигателя и вала, а также их несоосность, которые могут привести к появлению опасных вибраций. Муфты демпфируют также ударные нагрузки, развивающиеся при резких включениях и торможениях двигателя; эти нагрузки могут появиться также при блокировании гребного колеса или винта посторонними предметами.

Резиновая муфта уже была описана, когда речь шла о модели *Mosquito* (см. рис. 123). Моделисты используют резиновые муфты и других конструкций.

Просты в изготовлении пружинные муфты (рис. 170). Такая муфта представляет собой упругий соединительный элемент, который может компенсировать большие угловые отклонения и несоосность двигателя и вала. Направление намотки пружины должно соответствовать направлению вращения двигателя, чтобы пружина при работе муфты скручивалась, а не раскручивалась.

Электродвигатели, особенно на моделях судов и кораблей, требуют эффективного охлаждения. При использовании пружинной муфты пропеллер для подачи на двигатель охлаждающего воздуха можно приклеить или припаять к самой муфте со стороны двигателя. При соответствующем выборе пружины такие муфты используют даже на мощных приводах для глиссирующих моделей.

На моделях судов и кораблей применяют муфты и других конструкций. Так, оправдали себя карданные (шарнирные) муфты различных форм. Они компенсируют небольшие угловые отклонения между осями двигателя и вала. Для угловых отклоне-

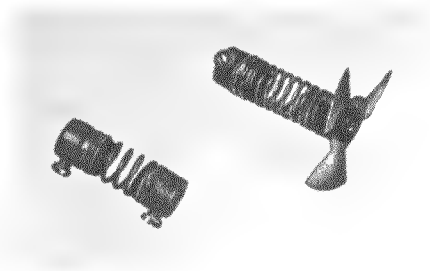


Рис. 170. Пружинные муфты для моделей судов и кораблей

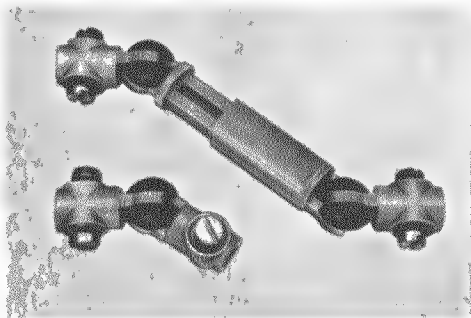


Рис. 171. Карданные муфты из пластмассы

ний до 20° и при небольших крутящих моментах (до 4 Н·см) можно устанавливать муфту (рис. 171, внизу), состоящую из двух вилок, крестообразно связанных между собой шариком с канавками. При наличии смещения осей двигателя и вала применяют двойную карданную муфту. Такая муфта с телескопически раздвигаемой средней частью показана на рис. 171, вверху. Все детали обеих муфт, кроме латунных резьбовых элементов, изготовлены из пластмассы.

Для передачи больших крутящих моментов применяют карданные муфты, состоящие из вилок и крестовин, связывающих их. Вилки муфт (рис. 172) выполнены из пластмассы, крестовины — металлические. Эти муфты передают крутящие моменты до 50 Н·см при угловых отклонениях до 10° . Они могут быть как одинарными, так и двойными.

Для передачи еще больших крутящих моментов (до 100 Н·см) требуются стальные муфты (рис. 173). Они в качестве готовых элементов используются в точной механике. На моделях часто используют также муфты, конструкция которых показана на рис. 174. Они просты в изготовлении и удобны при сборке-разборке. В зависимости от материала и конструкции они могут передавать моменты 100 Н·см и более.

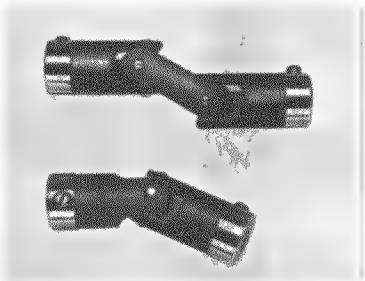


Рис. 172. Одиночные карданные муфты из пластмассы и стали

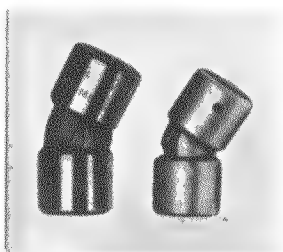


Рис. 173. Одиночные карданные муфты из стали

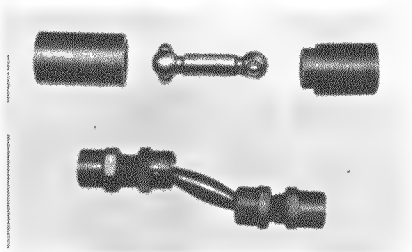


Рис. 174. Двойные карданные муфты из стали

Резкая остановка привода модели, например судна при попадании в гребной винт плавающих растений или модели самолета при касании грунта воздушным винтом во время посадки, может вызвать серьезное повреждение двигателя, жестко соединенного с валом. Это повреждение может иметь вид прожога коллектора, перегорания обмотки, выхода из строя аккумулятора.

Чтобы предотвратить такие повреждения, перед двигателем устанавливают упругий элемент, а еще лучше — предохранительную фрикционную муфту. Для этого может быть предусмотрено также место заданного разрушения, прочность которого заведомо ниже прочности деталей, которые нужно предохранить от повреждения. Таким местом может быть, например, ступица воздушного винта или пружинная муфта на модели судна. Их отремонтировать легче, чем восстановить, например, сгоревшую обмотку электродвигателя.

При точно выверенной соосности валов достаточно установки простых элементов связи. К таким элементам можно отнести муфту с упругой средней частью (рис. 175), а также муфту с упругим промежуточным диском (рис. 176). Этот диск, выполненный из резины, пластмассы или другого подобного им материала, обеспечивает компенсацию угловых отклонений валов. Чтобы можно было быстро и легко осуществить сборку-разборку соединения, на фланцах муфты устанавливают только штифты,

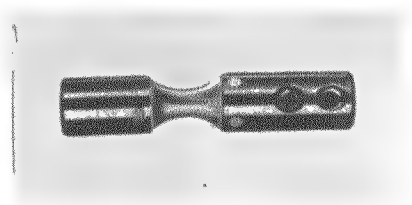


Рис. 175. Упругая муфта со средней частью из пластмассы

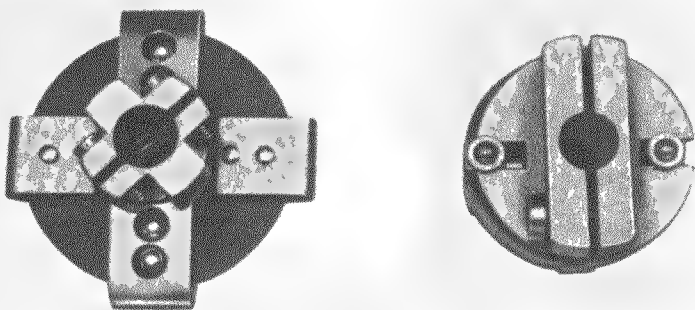


Рис. 176. Муфта с упругим промежуточным диском

входящие в промежуточный диск (рис. 177). Это особенно важно на моделях судов и кораблей, так как здесь двигатель и гребной вал должны сниматься довольно часто для удаления воды из дейдвудной трубы.

Такие муфты позволяют компенсировать лишь небольшие угловые отклонения (всего $1\text{--}3^\circ$).

6.3. Редукторы

Для согласования характеристик модели и двигателя в большинстве случаев необходим редуктор. В простейшем из них, который был рассмотрен в главе 2 (см. рис. 22 и 32), ведущее зубчатое колесо посажено непосредственно на вал двигателя, ведомое — на заднюю ось модели. Посредством замены ведомого колеса можно обеспечить требуемые ходовые характеристики модели.

На моделях судов и кораблей, прежде всего на водоизмещающих моделях, редукторы применяют для получения требуемой частоты вращения гребного винта. Если модель имеет несколько гребных винтов, редуктор устанавливают также и для синхронизации их вращения. Судомodelисты обычно сами изготавливают редукторы, устанавливая в них зубчатые колеса промышленного изготовления (рис. 178).

Чтобы потери мощности в редукторе не были слишком велики, число ступеней в нем должно быть минимальным. Для снижения шума между двумя металлическими зубчатыми колесами ре-

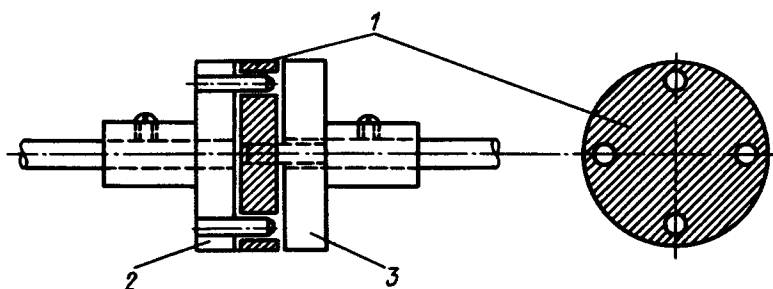


Рис. 177. Чертеж муфты с упругим промежуточным диском:
1 — резиновый промежуточный диск; 2, 3 — фланцы со штифтами

комендуется устанавливать пластмассовое. Если редуктор состоит всего из двух колес, то хотя бы одно из них должно быть пластмассовым, причем желательно, чтобы колеса были косозубыми.

Редукторы, применяемые на моделях летательных аппаратов, обычно выполнены как единое целое с электродвигателем (рис. 179), т. е. оптимальный режим их работы может быть достигнут только с определенным воздушным винтом. Передаточные отношения этих редукторов лежат в пределах от 1:3 до 1:10.

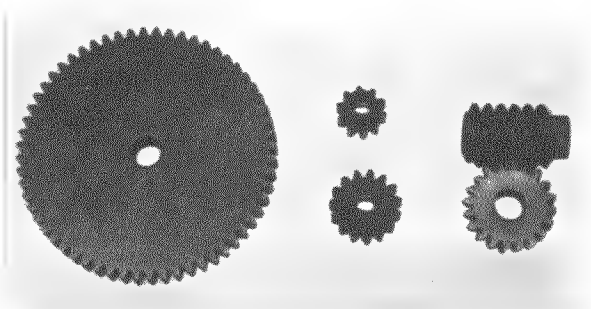


Рис. 178. Зубчатые и червячные колеса промышленного изготовления

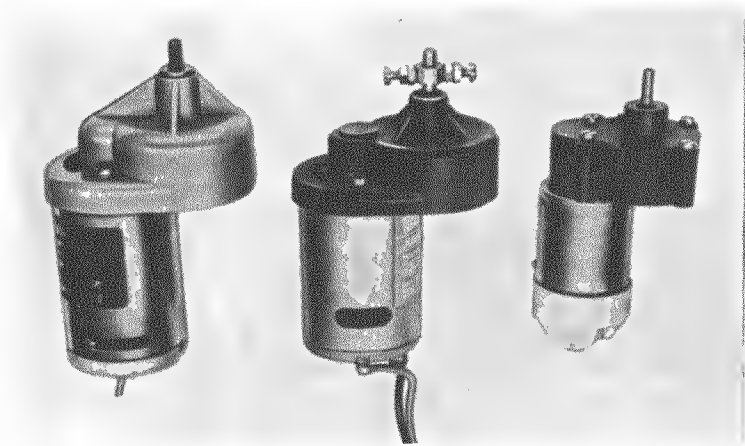


Рис. 179. Электродвигатели со встроенными редукторами для моделей летательных аппаратов. Слева направо:
EFM-Super, Jumbo 340 FG6, EF76G

7.1. Конструкция и назначение

Электродвигатели, предназначенные для установки на моделях, должны отвечать следующим требованиям:

возможность плавного изменения частоты вращения или по меньшей мере возможность переключения на требуемые фиксированные частоты;

простота реверсирования;

удобство обслуживания;

отсутствие или малая величина излучаемых высокочастотных помех.

Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют двигатели постоянного тока. Регулирование их частоты вращения и изменение направления вращения осуществляют довольно просто с помощью электронной аппаратуры дистанционного управления.

Однако не каждый электродвигатель может быть установлен на радиоуправляемой модели из-за уровня помех, излучаемых при его работе. Промышленность выпускает большое число электродвигателей постоянного тока, предназначенных специально для установки на моделях. Самые миниатюрные из них при-

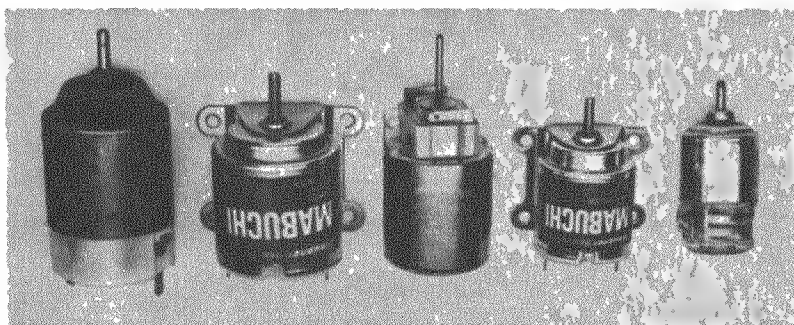


Рис. 180. Миниатюрные электродвигатели постоянного тока. Слева направо: типа 3430 (Piko)—12 В, 0,6 Вт; типа RE-140—3 В, 3 Вт; типа 3200 (Piko)—1,5 В, 0,1 Вт; типа RE-360—4,5 В, 9 Вт; типа 12 gp/S2—12 В, 10 Вт



Рис. 181. Малогабаритные электродвигатели постоянного тока. Слева направо: типа *EFM-Super 6* — 8 В, 40 Вт; типа *EFM-2* — 9 В, 85 Вт; типа *EFM-3* — 9 В, 120 Вт; типа *EFM-4* — 16 В, 250 Вт

годны для небольших моделей автомобилей, выполненных в масштабе 1:24, и судов длиной до 0,3 м (рис. 180). Малогабаритные двигатели (рис. 181) мощностью от 10 до 200 Вт могут использоваться на моделях гоночных автомобилей (масштаб от 1:24 до 1:8), летательных аппаратов, глиссирующих (класс F1-E1 кг), а также водоизмещающих (классы F2-A, F2-B и F2-C) судов.

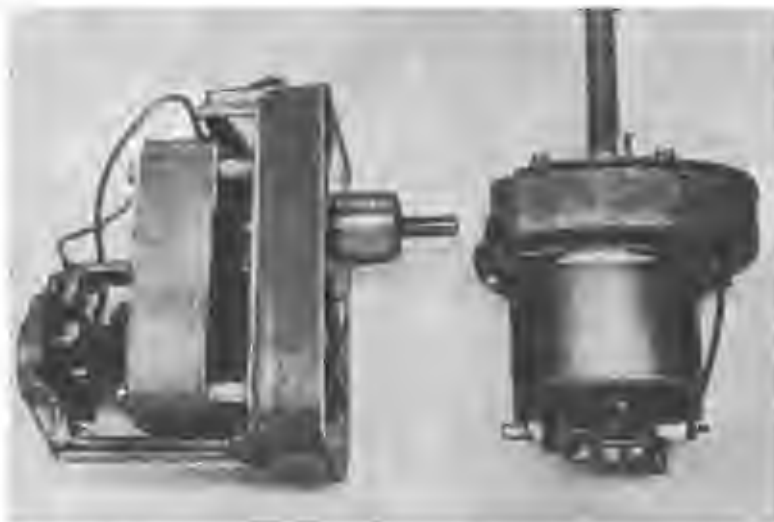


Рис. 182. Электродвигатели для автомобильных стеклоочистителей



а)



б)



в)

Рис. 183. Мощные электродвигатели:

а — типа *Sea Wasp* (6 В, 120 Вт); б — типа *Astro 25* (24 В, 120 Вт); в — типа *Astro 25* (24 В, 240 Вт)

Во многих случаях для моделей автомобилей и судов, особенно класса F7, пригодны электродвигатели постоянного тока, применяемые в качестве сервомеханизмов в промышленных системах автоматического регулирования, а также в автомобилях, например, для привода стеклоочистителей, вентилятора, устройств промывки окон и т. п. Чаще всего используют двигатели для стеклоочистителей (рис. 182), рассчитанных на рабочее напряжение 6 или 12 В и наиболее просто устанавливаемых на модели. Мощные двигатели (рис. 183) довольно дороги, что объясняется мел-

косерийностью, сложностью изготовления и использованием в них высококачественных материалов.

Несмотря на различия во внешнем виде, принцип действия и конструкция двигателей, показанных на рис. 180—183, одинаковы. Все они представляют собой электродвигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Благодаря использованию в них магнитов из порошкового спекаемого материала их мощность при кратковременном режиме работы может возрастать до 500 Вт.

Малогабаритный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов состоит из якоря (ротора) с коллектором, обмотками и сердечником, статора с одним или несколькими постоянными магнитами, щеток и подшипников (рис. 184).

Вращение якоря обусловлено взаимодействием его магнитного поля с полем статора (рис. 185), которое создают постоянные магниты. Поле якоря вызывается прохождением тока через якорные катушки. Для обеспечения непрерывности вращательного движения направление тока в якорных катушках должно изменяться в зависимости от угла поворота якоря. Эта задача решается с помощью коллектора.

Коллектор состоит из изолированных друг от друга медных пластинок, к которым подключены якорные катушки. Ток на коллектор подается с помощью скользящих по этим пластинкам щеток, выполненных из прессованного графита или металлического порошка. Такие щетки имеют малое электрическое сопротивление и низкий коэффициент трения.

Для усиления магнитного поля якорные катушки укладываются в сердечники из малоуглеродистой стали. Число катушек, количество витков в них и диаметр провода этих катушек определяют в основном частоту вращения и потребляемый ток двига-

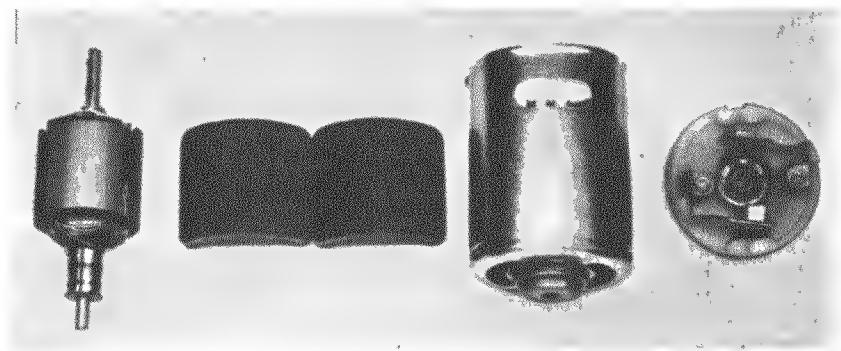


Рис. 184. Составные части электродвигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Слева направо: якорь, магниты, корпус (статор), крышка со щетками и подшипником

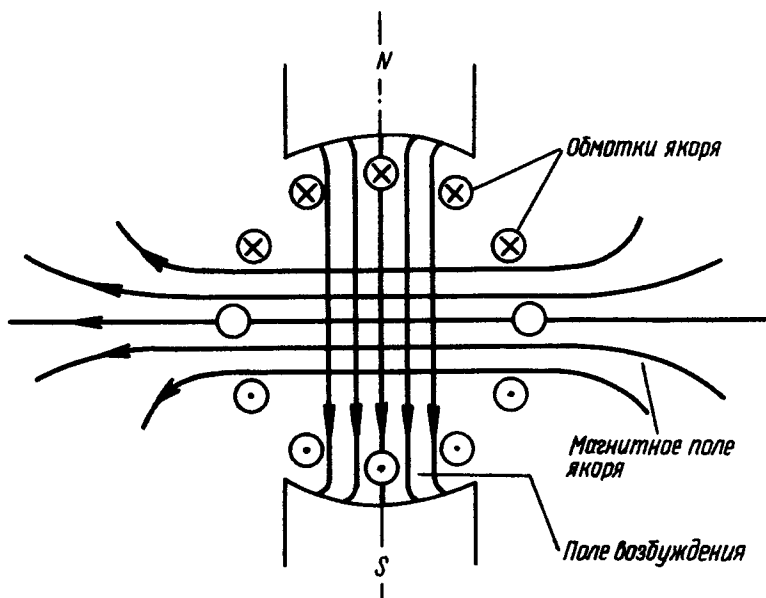


Рис. 185. Магнитные поля статора и якоря электродвигателя постоянного тока

теля. Поэтому внешне почти одинаковые электродвигатели при том же напряжении могут вращаться с различными скоростями и развивать различные мощности. Величину крутящего момента $M_{\text{двиг}}$, развиваемого электродвигателем с постоянными магнитами, позволяет определить следующая зависимость:

$$M_{\text{двиг}} = c_1 \Phi I_{\text{я}}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (33)$$

где Φ — магнитный поток возбуждения, Вб; $I_{\text{я}}$ — ток якоря, А; c_1 — постоянная.

Из этой формулы видно, что из двух двигателей, через якоря которых текут одинаковые токи, больший крутящий момент развивает тот, у которого поток возбуждения больше. Это указывает на большое значение качества установленных в двигателе постоянных магнитов.

Направление тока якоря определяет направление вращения электродвигателя. Для реверса необходимо изменить полярность напряжения на клеммах двигателя, в результате чего изменяется направление тока, текущего через якорь, и создаваемого им магнитного поля.

Вследствие явления, называемого реакцией якоря, характеристики электродвигателя оптимальны при вращении якоря только в одном определенном направлении, для которого он и расчи-

тывался. Это направление, как правило, указывается на двигателе и при установке его на модель должно быть основным (например, соответствующим ходу модели вперед). При работе в другом направлении отдаваемая двигателем мощность в большинстве случаев снижается, а уровень излучаемых им помех повышается. Если же направление вращения якоря на двигателе не указано, то его можно выбрать любым.

Асимметрию магнитного поля под нагрузкой можно компенсировать поворотом фланца со щетками примерно на 10° в направлении, противоположном направлению вращения якоря. Конструкция двигателей большой мощности предусматривает такой поворот щеток. Так, на двигателях типа *Sea Wasp* (см. рис. 183, а) щетки можно плавно смещать в обоих направлениях в зависимости от направления вращения двигателя. В более простых двигателях (см. рис. 181) предусматривается поворот той крышки корпуса, в которой закреплен подшипник вала якоря. При этом может быть выбрано любое из трех положений этой крышки. При «нейтральном» двигатель развивает одинаковую мощность при вращении в том или ином направлении.

Подшипники малогабаритных электродвигателей изготавливают чаще всего из самосмазывающихся спеченных материалов или пластмасс. В мощных двигателях для снижения потерь на трение устанавливают шариковые подшипники.

7.2. Рабочие характеристики

Нагрузку на электродвигатель модели в виде крутящего момента, противодействующего вращению двигателя, создают винт или колесо. При установившемся режиме работы крутящий момент двигателя $M_{\text{двиг}}$ уравнивает крутящий момент нагрузки $M_{\text{нагр}}$:

$$M_{\text{двиг}} = M_{\text{нагр}}. \quad (34)$$

При изменении нагрузки изменяются и характеристики двигателя. К этим характеристикам относятся:

ток якоря $I_{\text{я}}$, имеющий основное значение для выбора поперечного сечения проводов, размеров контактов, элементов устройств управления режимом работы двигателя, источников его питания;

частота вращения n , определяющая скорость модели, передаточное отношение редуктора, параметры движителя;

механическая нагрузка $P_{\text{мех}}$, от величины которой зависят характеристики работы двигателя при его максимальной мощности;

КПД η , учитываемый при выборе такого режима работы, при котором преобразование электрической энергии в механическую происходит с наименьшими потерями.

Графически изменение характеристик в зависимости от на-

грузки (т. е. максимального крутящего момента M , развиваемого двигателем в течение длительного времени) отображается кривыми, типичными для всех электродвигателей постоянного тока с постоянными магнитами (рис. 186).

Для сравнения на графике (см. рис. 186) приведены пары кривых, отображающих изменение характеристик при двух различных напряжениях на клеммах двигателя. Прежде всего рассмотрим случай подачи на двигатель номинального напряжения $V_{\text{ном}} = 12$ В. Ток $I_{\text{я}}$ растет примерно пропорционально нагрузке. Он не должен превышать определенное максимальное значение, которое зависит от продолжительности работы двигателя и его охлаждения. В соответствии с уравнением

$$P_{\text{пот}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} \quad (35)$$

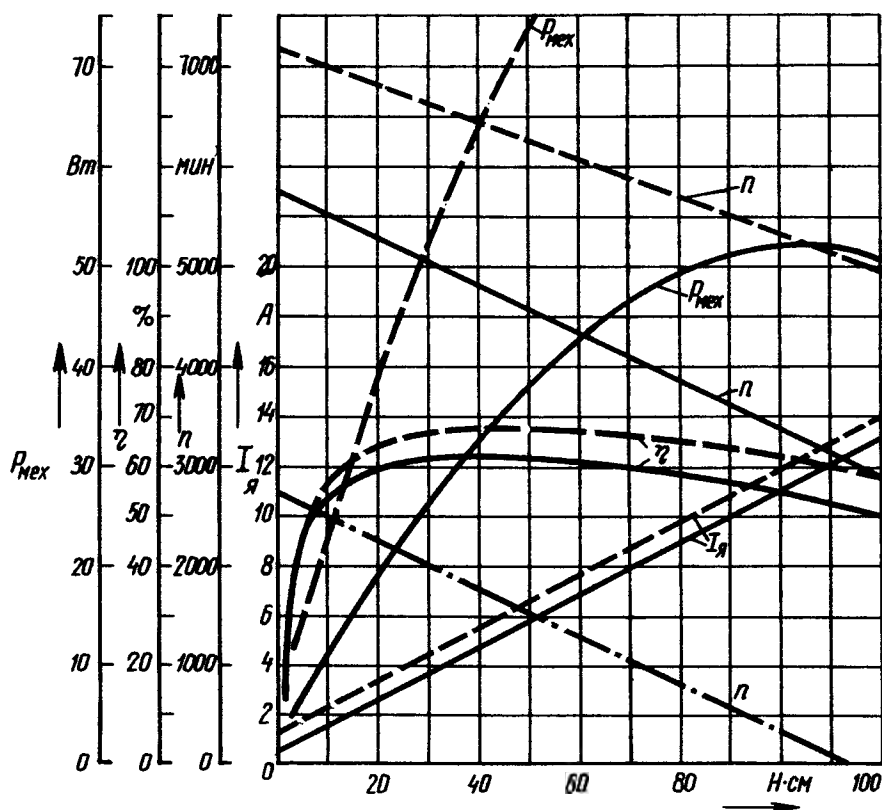


Рис. 186. Рабочие характеристики двигателя постоянного тока с постоянными магнитами при номинальном напряжении (сплошные линии) и напряжении, превышающем номинальное в 1,5 раза (штриховые линии)

где $P_{\text{пот}}$ — мощность потерь, Вт; $I_{\text{я}}$ — ток якоря, А; $R_{\text{я}}$ — сопротивление якоря, Ом, потери, обусловленные протеканием тока через обмотки якоря и проявляющиеся в виде его нагрева, пропорциональны квадрату этого тока. Для простоты потери в переходе щетка-коллектор отнесем к потерям в обмотках якоря. Они объясняются падением напряжения на переходе и зависят от сопротивления перехода. Это сопротивление определяется материалом щеток и коллектора, давлением щеток на коллектор, размерами контактных площадок, а также качеством рабочей поверхности коллектора.

Если для повышения мощности двигателя необходимо увеличить ток якоря, то должно быть улучшено охлаждение двигателя или уменьшено время его работы (для увеличения пауз, в течение которых двигатель охлаждается). Но поскольку потери в обмотках якоря зависят от квадрата его тока, максимальное значение этого тока может быть повышено лишь в относительно небольшой степени. При этом допускать работу электродвигателя при предельном значении тока якоря следует лишь в самых крайних случаях; для увеличения срока службы двигателя этот ток лучше снижать до значений, лежащих ниже допускаемого максимального значения, указанного в паспорте двигателя (а за частую и на его корпусе). Если же максимальная величина тока не известна, ее необходимо определить с помощью измерений на испытательном стенде (см. следующую главу).

Одной характеристики не достаточно для выбора двигателя и определения его допускаемой нагрузки. Так, для мощных двигателей моделисту по меньшей мере необходимо знать, при каком крутящем моменте двигатель работает оптимально. Определенную информацию здесь могут дать рабочие характеристики двигателя, подобные приведенным на рис. 186. Они показывают, что кривая мощности $P_{\text{мех}} = f(M_{\text{двиг}})$ имеет четко выраженный максимум. Его наличие объясняется тем, что потери мощности, в частности потери в якорных обмотках, при повышении нагрузки все больше снижаются, а затем начинают снова быстро возрастать. Отсюда можно сделать вывод, что нагружение электродвигателя выше значения, соответствующего максимуму его мощности, ведет к снижению мощности, развиваемой двигателем. Поэтому таких нагрузок необходимо избегать. Не следует нагружать двигатель и так, чтобы он развивал свою максимальную мощность, так как в этом случае требуется постоянный контроль степени его нагрева.

Максимум имеет и кривая КПД (η). Этот коэффициент представляет собой отношение отдаваемой электродвигателем механической мощности $P_{\text{мех}}$ к электрической мощности $P_{\text{эл}}$, подводимой к нему:

$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{эл}}}. \quad (36)$$

Поскольку $P_{\text{эл}}$ представляет собой сумму механической мощности и мощности потерь, можно сказать, что КПД максимален тогда, когда мощность потерь минимальна относительно расходуемой двигателем электрической мощности.

Кроме крутящего момента для моделиста важна также частота вращения, развиваемая двигателем. На рис. 186 видно, что ее значение падает почти линейно при увеличении нагрузки электродвигателя постоянного тока с постоянными магнитами. Это падение объясняется в первую очередь падением напряжения $U_{\text{я}}$ на якоре, которое определяется формулой

$$U_{\text{я}} = I_{\text{я}} R_{\text{я}}, \text{ В}, \quad (37)$$

где $I_{\text{я}}$ — ток якоря, А; $R_{\text{я}}$ — сопротивление обмотки якоря, Ом. Эта формула приведена для того, чтобы было более понятно уравнение, определяющее частоту вращения электродвигателя:

$$n = c_2 \frac{U - U_{\text{я}}}{\Phi}, \quad (38)$$

где n — частота вращения, мин^{-1} ; U — напряжение на клеммах двигателя, В; $U_{\text{я}}$ — падение напряжения на якоре, В; Φ — магнитный поток в якоре, Вб; c_2 — постоянная двигателя.

Последнее уравнение показывает, что частота вращения двигателя зависит и от приложенного к нему напряжения. Это иллюстрируют также две кривые изменения частоты вращения (для $U_{\text{ном}}$ и $1,5 U_{\text{ном}}$). Они идут почти параллельно, но кривая для более высокого напряжения лежит выше. На основе этого можно сделать следующие выводы:

частоту вращения двигателя постоянного тока проще всего можно изменять посредством регулирования напряжения, подаваемого на его клеммы;

повышения мощности, развиваемой двигателем, можно достичь также увеличением этого напряжения.

При этом, однако, нужно учитывать и повышение частоты вращения.

Работа малогабаритного электродвигателя при напряжении, в 1,5 раза превышающем номинальное, как правило, допустима. Однако не следует забывать, что при превышении номинального напряжения питания:

двигатель работает с перегрузкой;

необходимо его охлаждение;

повышается износ двигателя, что влечет за собой сокращение срока его службы;

усиливается искрение щеток, что создает повышенные помехи радиоприему вблизи двигателя.

Отсюда можно вывести следующее общее правило: если для увеличения мощности на двигатель подается повышенное напряжение, то это обязательно должно сопровождаться увеличением

частоты его вращения. Якорный ток должен оставаться примерно постоянным; в ином случае быстро возрастающие в соответствии с уравнением (35) потери в якорных обмотках уже через короткое время приведут к плавлению, а возможно, и прогоранию изоляции этих обмоток.

Пока мы рассматривали только явления, связанные с прохождением через двигатель электрического тока. Теперь следует описать механические характеристики электродвигателей в процессе обеспечения ими привода винта или колес.

На рис. 187 показано изменение момента, развиваемого электродвигателем, и момента, требуемого для вращения винта, в зависимости от частоты их вращения. Момент, необходимый для вращения винта, оказывает тормозящее воздействие на двигатель и поэтому его называют моментом нагрузки. Он пропорционален квадрату частоты вращения двигателя:

$$M_{\text{нагр}} = k_1 n^2, \quad (39)$$

где $M_{\text{нагр}}$ — момент сопротивления, Н·м; n — частота вращения, мин⁻¹; k_1 — постоянная, Н·м/мин.

У приводов для моделей автомобилей момент трения, имеющий примерно такую же величину, как и сопротивление воздуха при соответствующей скорости, можно учитывать в виде постоянного коэффициента

$$M_{\text{нагр}} = k_0 + k_1 n^2. \quad (40)$$

Поскольку момент, развиваемый двигателем при установившемся режиме работы, должен уравниваться моментом нагрузки, можно с помощью графика (см. рис. 187) определить частоту вращения двигателя при определенных винте или колесах.

Рабочие характеристики электродвигателя, изменение которых в зависимости от крутящего момента показано на рис. 186,

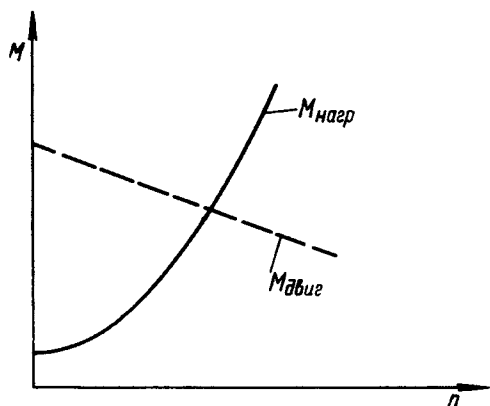


Рис. 187. Рабочие характеристики двигателя и гребного винта

часто представляют также в зависимости от частоты вращения. На рис. 188 показан график такой зависимости для электродвигателя типа *EFM-3*. Оба варианта графиков широко используются и имеют свои преимущества и недостатки.

Вернемся, однако, к графику на рис. 187. Обе кривые на нем должны быть согласованы между собой при выборе оптимального режима работы двигателя. Рабочая точка, представляющая собой точку пересечения этих двух кривых, может быть смещена как вследствие изменения кривой $M_{\text{нагр}}$ путем варьирования параметров, например, винта (шага, диаметра, профиля, формы лопастей), так и вследствие изменения кривой $M_{\text{двиг}}$ путем варьирования характеристик двигателя (напряжения на клеммах, замены двигателя, редуктора). На практике обычно используют обе эти возможности, чтобы сместить рабочую точку в наиболее благоприятную область крутящих моментов и частот вращения.

Теперь моделист вправе спросить, чем могут быть полезны ему кривые рабочих характеристик электродвигателя, если в

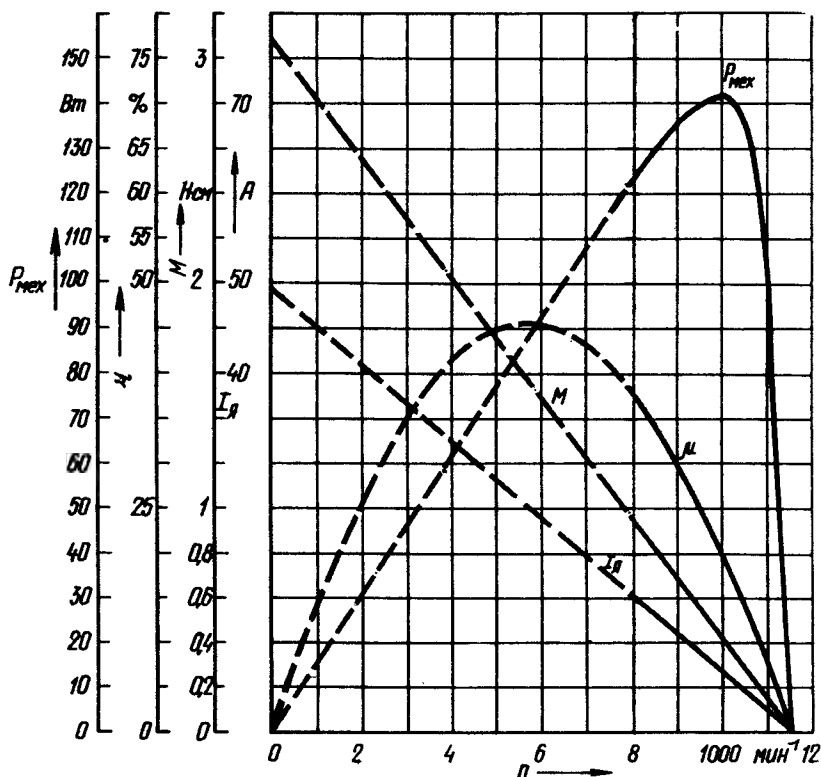


Рис. 188. Рабочие характеристики электродвигателя типа *EFM-3*

большинстве случаев он не располагает техническими данными двигателя и винта (или колес). А если и располагает паспортными данными, то ведь они вследствие технологических допусков могут сильно отличаться от реальных параметров (до 20 %). Однако, как показано дальше, моделист сам с помощью простых средств может снять характеристики двигателя, необходимые для расчета привода модели.

Пристального внимания требует тепловой режим электродвигателя. Вследствие потерь в сердечнике и особенно в якорных обмотках якорь нагревается. Температура этого нагрева не должна превышать температуры, при которой изоляция этих обмоток начинает терять свои свойства. Для различных электродвигателей эта температура различна и зависит от качества изоляции двигателя. Тепло, образующееся в якоре, должно отводиться, например, за счет излучения или с помощью принудительного охлаждения. Таким образом, увеличение мощности электродвигателя не означает лишь подвод большего количества энергии к двигателю, необходимо оптимальное соотношение между механической мощностью и мощностью потерь.

Для пояснения сказанного выше рассмотрим следующий пример. Пусть электродвигатель для привода глissирующей (класса F1-E1 kg) или летающей (типа *Sky-Fly*) модели, например двигатель типа *EFM2*, при $U=8$ В и $I_{\text{я}}=10$ А имеет КПД примерно 50 %. Следовательно, потребляемая электрическая мощность 80 Вт лишь наполовину преобразуется им в механическую мощность. Вторая половина, составляющая 40 Вт и проявляющаяся в виде мощности потерь, должна быть отведена с помощью охлаждения. Наглядно эту мощность можно представить, вспомнив о тепле, излучаемом радиотехническим паяльником примерно такой мощности. Для проводов якорной обмотки, покрытых эмалевой изоляцией, максимально допустимая температура при длительном режиме работы составляет 120 °С. Однако и при интенсивном охлаждении перегрузка двигателя не должна быть длительной, чтобы нарушение процессов нагрева и охлаждения не привело к его повреждению. Двигатель можно перегружать лишь кратковременно, не доводя температуру его нагрева до предельной.

С точки зрения длительности работы различают электродвигатели для длительной и кратковременной работы. Последние способны в течение короткого времени развивать высокую мощность, но при длительной работе могут выйти из строя. Поэтому необходимо знать режим включения двигателя, устанавливаемого на модель. Например, двигатели для кратковременной работы рассчитываются на время включения в течение 0,5, 1, 3, 5, 10 и 30 мин. В зависимости от размеров двигателя определяется продолжительность пауз, необходимых для его охлаждения до температуры окружающей среды.

Вывод: следует постоянно контролировать температуру элект-

родвигателя, особенно при пробных стартах, статических испытаниях, а также испытаниях на стенде.

Кроме температуры необходимо контролировать якорный ток, так как превышение его номинального значения всегда означает термическую перегрузку двигателя.

Определяющей для охлаждения является разность температур обмотки и окружающей среды. Если из-за высокой температуры воздуха эта разность снижается, это также может привести к термической перегрузке. Поэтому нагрузку электродвигателей при температуре воздуха выше 40 °С следует снижать.

Чтобы ускорить процесс охлаждения, крепление электродвигателя при установке на модель производят с помощью хомутиков из листового материала без использования какого-либо другого изолирующего материала. Препятствия для теплоизлучения должны быть минимальны. Там, где это возможно, стараются обеспечить хороший контакт с большими металлическими поверхностями. Для этого устанавливают, например, двигатель модели автомобиля на ее металлическом шасси. На модели судна электродвигатель закрепляют на соответствующем металлическом фундаменте из алюминиевого листа.

Поскольку основными источниками потерь в электродвигателе постоянного тока с постоянными магнитами являются якорные обмотки, щетки и коллектор, на их охлаждение необходимо обращать основное внимание. Отвод тепла от них посредством излучения и теплопроводности уже недостаточен. В мощных двигателях необходима принудительная вентиляция, особенно термически сильно нагруженных частей. Для этого в них предусматриваются соответствующие отверстия для входа и выхода воздуха (рис. 189). Целесообразно, чтобы воздух проходил от одного подшипника к другому, т. е. чтобы двигатель продувался вдоль якоря (рис. 190, а). При этом осуществляется охлаждение обмоток и коллектора. Если же на торцовых стенках двигателя никаких отверстий не предусмотрено, то воздух можно подавать и в поперечном направлении (рис. 190, б).

На моделях самолетов для охлаждения двигателя можно использовать часть воздушного потока, отбрасываемого винтом.

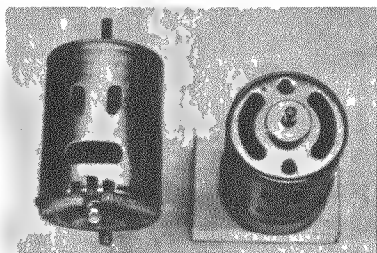


Рис. 189. Отверстия для воздушного охлаждения электродвигателя

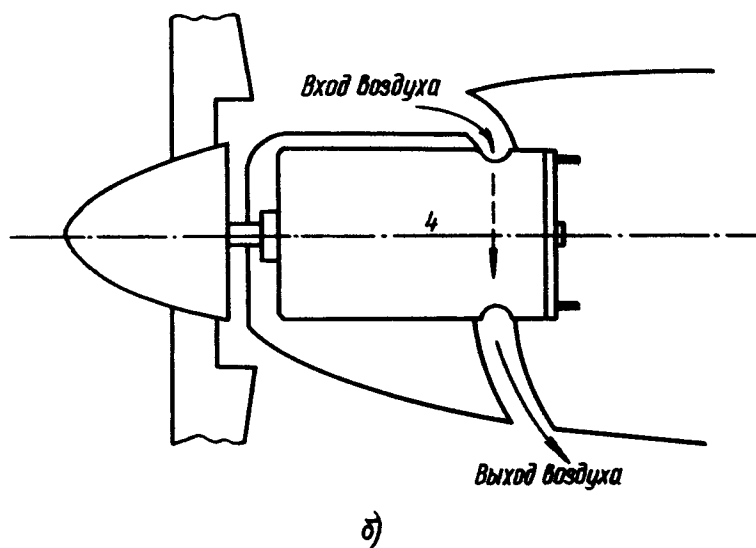
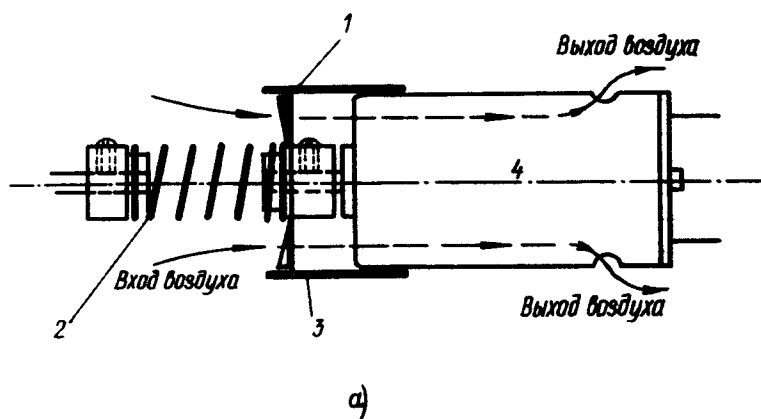


Рис. 190. Охлаждение электродвигателя при прохождении воздушного потока вдоль якоря (а) и перпендикулярно ему (б):

1 — крыльчатка вентилятора; 2 — пружинная муфта; 3 — передвигающее кольцо из жести; 4 — электродвигатель

Примеры соответствующих конструктивных решений показаны на рис. 122, 128 и 133.

У моделей судов на валу двигателя для создания воздушного потока устанавливают специальную крыльчатку (рис. 190, б и 191). Число и шаг лопастей крыльчатки зависят от расхода воз-

Рис. 191. Крыльчатка для охлаждения электродвигателя, припаянная к муфте



духа, требующегося для охлаждения двигателя, а расход, в свою очередь, зависит от частоты вращения двигателя. При увеличении нагрузки эта частота падает, что влечет за собой уменьшение количества подаваемого крыльчаткой воздуха. Это является недостатком данной системы охлаждения, так как при повышении нагрузки охлаждение двигателя должно усиливаться, поскольку мощность потерь возрастает.

На моделях автомобилей, как правило, достаточно потока, набегающего на модель во время ее движения. Необходимо только следить, чтобы этот поток мог свободно обтекать электродвигатель.

Иногда для очень мощных электродвигателей предусматривают водяное охлаждение подшипников и держателей щеток.

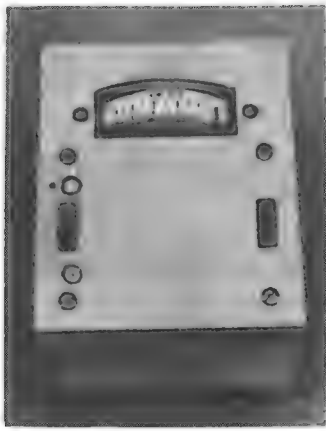
7.3. Снятие рабочих характеристик

В этом разделе описаны некоторые способы, позволяющие моделисту с помощью простых средств замерить основные рабочие характеристики электродвигателя, необходимые для расчета привода модели.

Для построения кривых рабочих характеристик (см. рис. 186 и 188) необходим испытательный стенд, на котором можно снимать параметры двигателя при изменении его нагрузки. В качестве нагрузки при этом пользуются торможением двигателя, которое осуществляют с применением различных тормозов — механических (тросовых, колодочных, гидродинамических) и электрических (вихревых, тормозов-генераторов).

Для снятия характеристик модельных электродвигателей разработано большое количество вариантов испытательных стендов. Однако наиболее трудным остается измерение частоты вращения. Механические тахометры использовать нельзя, так как они сами создают двигателю слишком большую нагрузку и тем

Рис. 192. Самодельный тахометр



самым искажают результаты измерений. Здесь применимы только бесконтактные методы измерения частоты вращения. Одним из таких методов является оптический, в соответствии с которым число импульсов света, зафиксированных фотоэлектрическим датчиком за определенный промежуток времени, позволяет рассчитать частоту вращения двигателя. Расчет обычно выполняется аппаратурой тахометра, и на индикатор прибора выводится уже конечный результат — частота вращения. Тахометр может быть изготовлен в виде отдельного прибора (рис. 192) или приставки к комбинированному электронизмерительному инструменту (рис. 193). Оптические тахометры встраиваются в комбинированные приборы,



Рис. 193. Тахометр-приставка к комбинированному электронизмерительному прибору

Рис. 194. Комбинированный электронизмерительный прибор со встроенным тахометром



выпускаемые специально для моделлистов (рис. 194).

Ниже описаны некоторые наиболее распространенные конструкции испытательных стендов.

Испытательный стенд с тросовым тормозом

На валу двигателя закреплен тормозной барабан, вокруг которого обвит трос (рис. 195). Оба конца троса связаны с винтовыми пружинами, играющими роль пружинных динамометров. Усилие F , приложенное к пружине, можно определять по длине ее свободного конца, который выходит из трубки, являющейся корпусом динамометра. Разность усилий этих пружин

$$F = F_1 - F_2 \quad (41)$$

(где F_1 и F_2 — усилия обеих пружин, Н) и радиус тормозного барабана позволяют рассчитать тормозной момент, развиваемый двигателем, т. е. момент его нагрузки:

$$M_{\text{нагр}} = Fr, \quad (42)$$

где $M_{\text{нагр}}$ — тормозной момент, Н·см; r — радиус тормозного барабана, см; F — усилие, развиваемое двигателем, Н.

Уравнение (42) справедливо только для очень тонких тросов, толщина которых гораздо меньше диаметра барабана. В ином случае необходимо пользоваться формулой

$$M_{\text{нагр}} = \frac{D+d}{2} F, \quad (43)$$

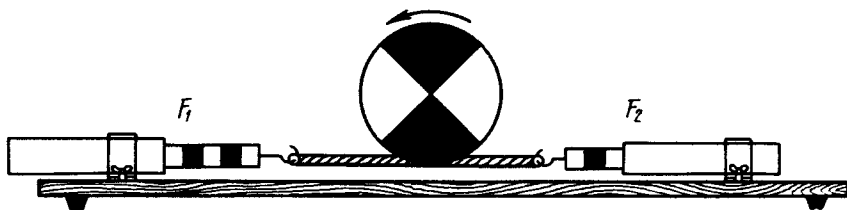


Рис. 195. Схема испытательного стенда с тросовым тормозом

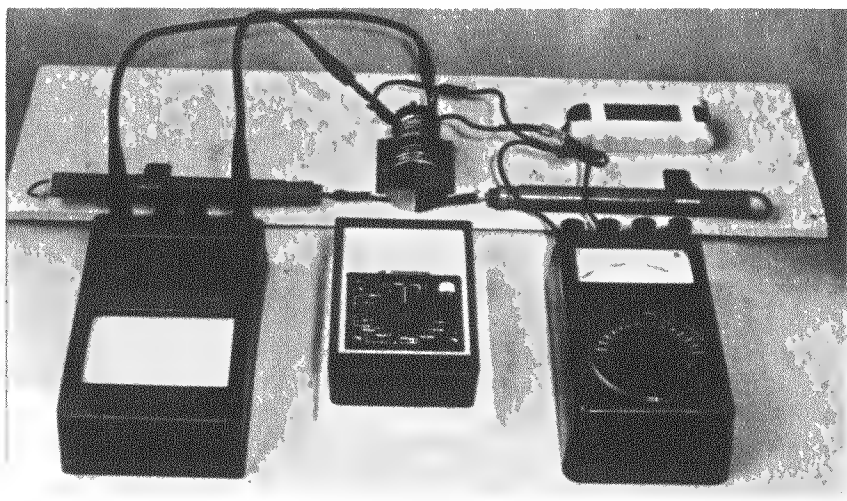


Рис. 196. Внешний вид испытательного стенда с тросовым тормозом

где D — диаметр тормозного барабана, см; d — диаметр троса, см; F — усилие, развиваемое двигателем, Н.

На торцевой поверхности тормозного барабана нанесены два светлых и два темных сектора. Отражение света от этих секторов определяет работу оптического тахометра, устанавливаемого около этого барабана, диаметр которого принимается примерно равным диаметру якоря двигателя.

Весь испытательный стенд монтируют на жестком основании (рис. 196). Подбирая диаметр барабана и натяжение обеих пружин, можно получать различные тормозные моменты в зависимости от характеристик конкретного двигателя. Этот простой стенд имеет и недостатки. Так, при больших мощностях (свыше 50 Вт) или при длительной нагрузке тормозной барабан сильно нагревается, что приводит к изменению коэффициента трения троса о барабан. Нагрев может быть ограничен 100°C , если барабан выполнить полым и заполнить его водой.

Тормоз-генератор

Упомянутый выше недостаток тормозного барабана, связанный с его нагревом, может быть устранен с помощью тормоза-генератора, обеспечивающего электрическое торможение этого барабана. Тормоз-генератор имеет возможность поворачиваться вокруг продольной оси (рис. 197), поэтому иногда его называют маятниковым генератором. Расходуемая в нем мощность на потенциометре преобразуется в тепло. Тормозной момент и частоту вращения двигателя, подвергаемого испытаниям, измеряют с

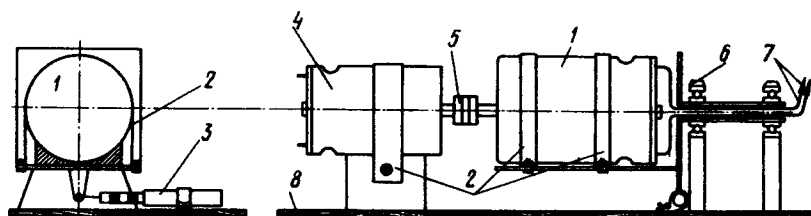


Рис. 197. Тормоз-генератор:

1 — генератор; 2 — хомут для крепления двигателя; 3 — пружинный динамометр; 4 — двигатель, подвергаемый испытаниям; 5 — муфта; 6 — подшипники; 7 — провода; 8 — основание

помощью пружинного динамометра и оптического тахометра, для чего на муфту, связывающую двигатель и генератор, наносят две белые полоски.

В качестве тормоза-генератора может быть использован другой двигатель постоянного тока. Он должен иметь такие же или более высокие мощность потерь и частоту вращения. Для связи генератора и двигателя можно установить муфту модели.

Этот способ измерения также не лишен недостатков. Он не позволяет производить испытания при малых значениях измеряемых параметров, так как даже на холостом ходу генератор представляет для двигателя большую нагрузку. Ее величина может составлять от 10 до 30 % от полной его нагрузки.

Испытательный стенд с нагрузочным воздушным винтом

Нагрузку электродвигателя при снятии его рабочих характеристик можно изменять также посредством сменных воздушных винтов. Двигатель устанавливают на маятниковом подвесе (рис. 198). Винт создает тормозящий момент, который может быть рассчитан по уравнению (42). Усилие, развиваемое двигателем, можно измерить пружинным динамометром. Световые импульсы для работы тахометра могут создаваться самим воздушным винтом при перекрытии им источника света. Преимуществом этого способа является то, что двигатель здесь интенсивно охлаждается воздухом, отбрасываемым винтом.

Лампы накаливания и люминесцентные излучают пульсирующий свет, поэтому их применение может привести к погрешностям показаний оптического тахометра. Более пригодны для этих целей свет солнца или карманного фонарика.

Результаты каждого измерения необходимо заносить в специальный журнал (табл. 8).

В столбцы 2—6 журнала вносят значения, замеренные на стенде. При этом измерения производят при 8—10 значениях изменяемого параметра. По результатам этих измерений с помощью уравнения (42) или (43) рассчитывают крутящий момент

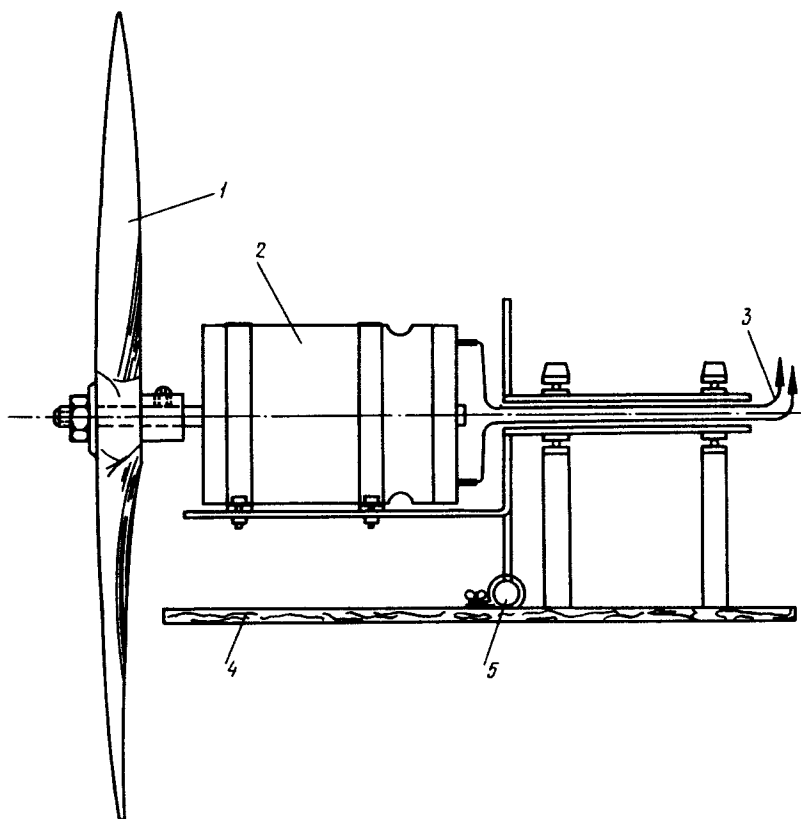


Рис. 198. Испытательный стенд с нагрузочным воздушным винтом;
1 — воздушный винт; 2 — электродвигатель; 3 — провода; 4 — основание; 5 — пружинный динамометр

Таблица 8

Образец журнала измерений

№ п/п	Нагрузка		Частота вращения n , мин ⁻¹	Напряжение U , В	Ток I , А	Крутящий момент $M_{двиг}$, Н·см	Входная мощность $P_{эл}$, Вт	Выходная мощность $P_{мех}$, Вт	КПД η , %
	F_1 , Н	F_2 , Н							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

двигателя, который равен тормозному моменту. Электрическая мощность определяется по формуле

$$P_{эл} = UI_{я}, \quad (44)$$

где $P_{эл}$ — электрическая мощность, Вт; U — напряжение на якоре, В; $I_{я}$ — ток якоря, А.

Для расчета механической мощности можно использовать уравнение

$$P_{мех} = 2\pi M_{двиг} n, \quad (45)$$

где $P_{мех}$ — механическая мощность двигателя, Вт; $M_{двиг}$ — крутящий момент, Н·м; n — частота вращения, с⁻¹.

КПД двигателя можно рассчитать по уравнению (36).

Для решения о том, пригоден ли двигатель для конкретной модели, необходимо иметь не только технические данные двигателя, но и сведения о параметрах модели и ее движителя. Выше уже были описаны расчеты этих параметров для водоизмещающих моделей, а также моделей летательных аппаратов и глиссирующих судов. Что касается гребных и воздушных винтов, то для определения соответствия их двигателю необходимо знать зависимость тяги винта от частоты его вращения. Ниже описаны способы снятия этих характеристик.

Измерение тяги воздушного винта

Для проведения измерений электродвигатель с воздушным винтом закрепляют на подвесе так, чтобы можно было замерить усилие, развиваемое винтом в аксиальном направлении. При этом используют стенд (рис. 199), на котором воздушный поток, отбрасываемый винтом, не встречает препятствий, а значит, винт не испытывает никаких искажающих результат воздействий. Возможность изменять предварительное натяжение пружины динамометра позволяет испытывать винты с различными тяговыми характеристиками.

По результатам измерений тягового усилия, фиксируемым в протоколе, строят кривую, которая позволяет определить тягу винта при той или иной частоте его вращения. Если кроме тяги и частоты вращения винта измерять также ток и напряжение на клеммах двигателя, то, зная изменения КПД двигателя при этом (что может быть определено на стенде для испытания двигателей), можно рассчитать мощность $P_{мех}$, расходуемую при вращении винта с соответствующей частотой.

Расход мощности можно определить на стенде, показанном на рис. 198. Меняя напряжение на его клеммах, измеряют частоту вращения и крутящий момент, развиваемый двигателем, а затем рассчитывают $M_{нагр} = M_{двиг}$ по уравнению (42) и $P_{мех}$ по

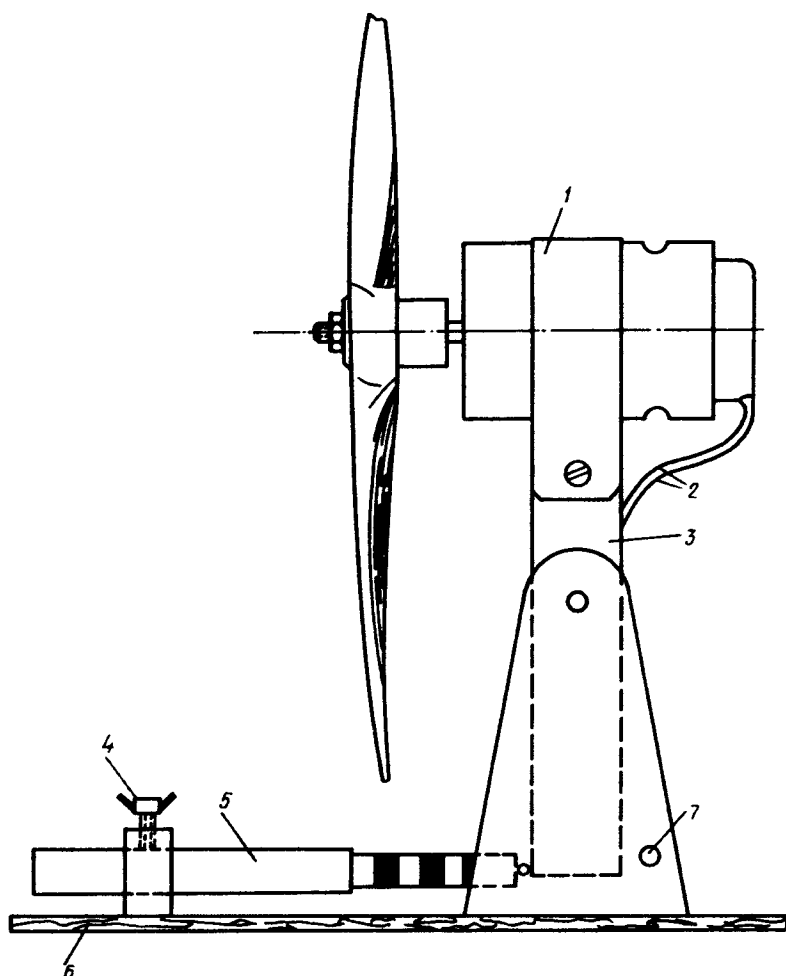


Рис. 199. Стенд для измерения тяги воздушного винта:

1 — хомут для крепления электродвигателя; 2 — провода; 3 — рычаг; 4 — стопорный винт; 5 — пружинный динамометр; 6 — основание; 7 — упор для ограничения угла наклона рычага

уравнению (45). Если построить график изменения момента $M_{\text{нагр}}$ в зависимости от частоты вращения, то можно получить кривую, подобную кривой на рис. 187. Правда, не следует забывать, что значения характеристики винта, полученные на стенде, более или менее сильно будут отличаться от его характеристики во время полета модели. Так, в полете частота вращения винта возрастает примерно на 10—20 %, а потребляемая мощность сни-

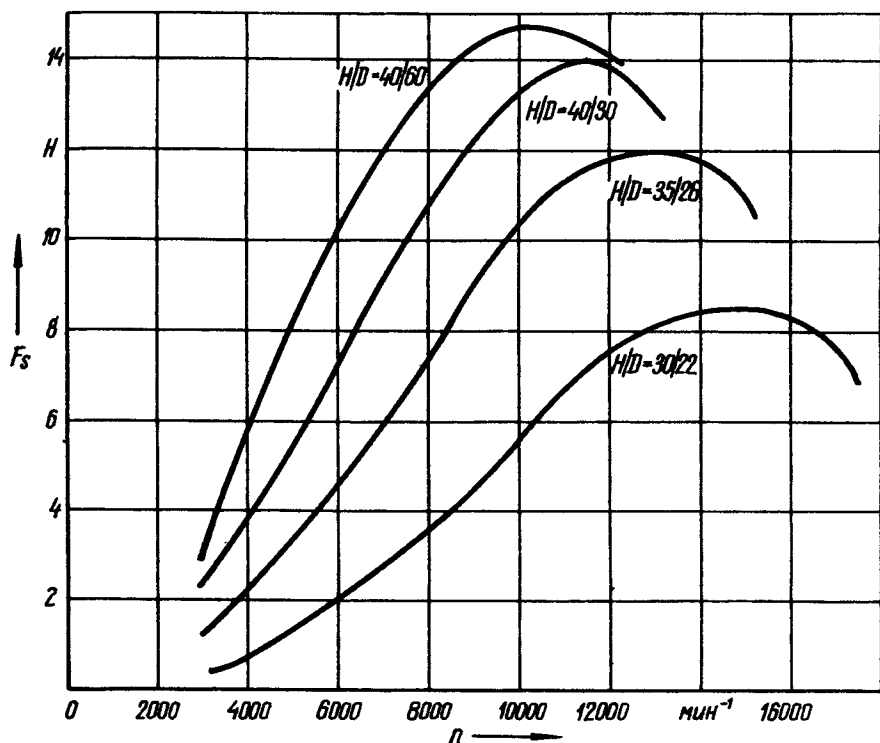


Рис. 200. Зависимость упора гребных винтов от частоты вращения

жается. Благодаря этому падает ток двигателя. Но, несмотря на это, стендовые испытания позволяют получить довольно хорошие ориентировочные значения механической мощности и частоты вращения, необходимые для выбора двигателя. Однако окончательный выбор элементов системы модель-винт-двигатель может быть осуществлен только в результате как стендовых, так и летных испытаний модели.

Измерение упора гребного винта

Для построения кривой изменения упора гребного винта в зависимости от частоты его вращения, так же, как и описанной выше кривой для воздушного винта, используют результаты испытаний на швартовах. Эти испытания должны проводиться в водоеме достаточной глубины и площади. Модели длиной до 1 м с двигателем мощностью до 100 Вт можно испытывать и в домашней ванне, пренебрегая при этом ошибкой, вносимой влиянием стенок.

Во время швартовых испытаний модель удерживается на од-

ном месте с помощью пружинного динамометра, показания которого соответствуют упору, развиваемому винтом. Одновременно измеряются частота вращения винта, напряжение на клеммах двигателя и ток якоря. По результатам измерений упора и частоты вращения для каждого винта строят кривую (рис. 200). Как и в случае воздушных винтов, для расчета потребной мощности при данной частоте вращения здесь достаточно знания КПД двигателя. По упору, необходимому для движения модели с заданной скоростью, можно найти требуемую частоту вращения выбранного винта, по которой рассчитывают мощность двигателя.

При замене гребного винта необходимо помнить, что, увеличивая диаметр винта при сохранении постоянной его относительной поступи, максимум упора получают при меньшей частоте вращения. Если же увеличивать шаг винта при сохранении его диаметра неизменным, максимальный упор развивается также при более низких значениях частоты вращения, причем величина упора оказывается большей.

7.4. Подавление помех, излучаемых двигателем, и его защита

При разрывах электроцепи в местах контакта щеток и коллектора возникают искры, которые излучают широкий спектр электромагнитных волн, создающих помехи радиоприему. Для подавления этих помех между щетками и металлическим корпусом двигателя включают конденсаторы емкостью 47—100 нФ, пробивная прочность которых составляет 25 В. При этом возможны различные варианты их включения, два из которых показаны на рис. 201 и 202. По первому варианту один из конденсаторов шун-

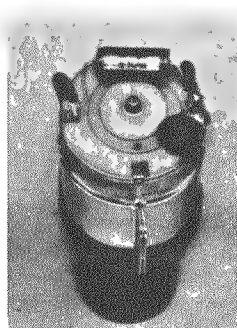
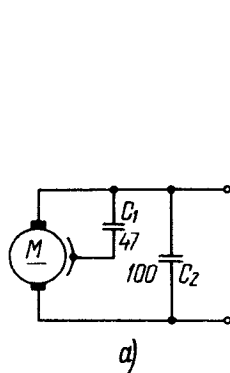
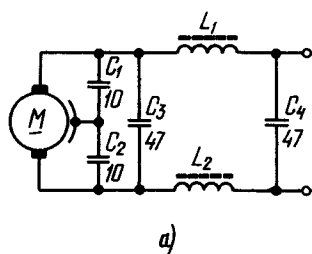
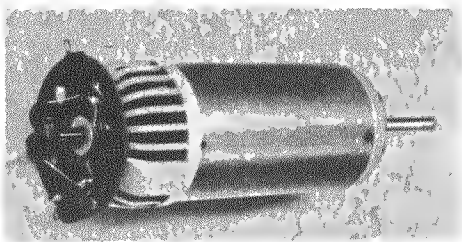


Рис. 201. Противопомеховый фильтр:
а — электрическая схема; б — фильтр, установленный на двигателе



а)



б)

Рис. 202. Противопомеховый фильтр, устанавливаемый на щетках двигателя;
а — электрическая схема; б — фильтр, установленный на двигателе

тирует обе щетки, а другой включен между одной из щеток и металлическим корпусом двигателя (являющимся массой). Конденсаторы припаиваются непосредственно к выводам щеток. По второму варианту (см. рис. 202) противопомеховый эффект значительно улучшен благодаря расширению схемы фильтра за счет еще двух конденсаторов и двух катушек. Правда, катушки должны быть рассчитаны на максимальный ток двигателя. Для тока от 1 до 10 А эти катушки изготовляют намоткой медного провода диаметром 1—1,5 мм на цилиндрические ферритовые сердечники с четырьмя-пятью продольными отверстиями.

Некоторые электродвигатели имеют высокий уровень помех. Этот уровень возрастает при подаче на двигатель напряжения, превышающего номинальное, и при перегрузке. Практика показывает, что даже с противопомеховым фильтром (см. рис. 202) нельзя полностью подавить помехи, если двигатель их уже излучает. Поэтому стараются использовать такие двигатели, у которых искрение щеток невелико.

Обычно уровень помех, излучаемых двигателем, определяют еще при испытаниях на стенде. Если помехи слишком велики при перегрузке или превышении номинального напряжения, то для их снижения достаточно уменьшить напряжение или не создавать перегрузок. Чтобы излучение сохранялось на низком уровне, рекомендуется устанавливать на модели электродвигатель возможно большей мощности, какую позволяют грузоподъемность модели, объем соответствующего отсека в ней и емкость источника электропитания.

Во время ходовых испытаний возможны резкие остановки двигателя при задирах в подшипниках модели любого типа, намотки растений на гребной винт судомодели, удара воздушного винта при посадке авиамодели с невыключенным двигателем и т. д. Если при высоконагруженном источнике питания через двигатель

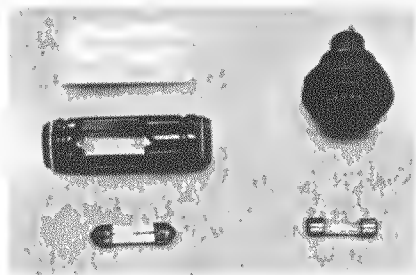


Рис. 203. Плавкие предохранители (внизу) и держатели для них (вверху), устанавливаемые в цепях питания электродвигателей

при этом протекает ток порядка 50—100 А, он наверняка выведет двигатель из строя. Чтобы этого не произошло, в цепь питания модельных электродвигателей устанавливают небольшие плавкие предохранители. Они разрывают цепь питания при появлении в ней слишком большого тока. Ток срабатывания предохранителя должен в 3—5 раз превышать максимальный ток двигателя под нагрузкой. Чтобы предохранители не срабатывали под действием тока включения, который также значительно превышает нормальный ток нагрузки, но действует в течение очень короткого промежутка времени, применяют только инерционные предохранители.

На моделях можно устанавливать предохранители, используемые в бытовой электронной аппаратуре (рис. 203). Предохранитель включают в цепь непосредственно у плюсового вывода источника питания.

7.5. Правила обращения с электродвигателями

При установке электродвигателя на модель необходимо выполнять следующие основные требования:

новый двигатель и щетки подвергнуть обкатке на холостом ходу в течение 30 мин при напряжении, вдвое меньшем номинального;

надежно защитить двигатель от попадания в него воды, пыли, песка, грязи, металлической пыли и т. д.;

предохранить двигатель от ударов и толчков, которые могут повредить вал, подшипники и магниты;

установить на двигателе противопомеховый фильтр;

в цепи питания установить предохранитель;

перед установкой на двигатель тщательно отбалансировать воздушный винт;

обеспечить эффективное охлаждение двигателя;

предохранять двигатель от перегрузок, а также от работы с низкой частотой вращения даже при номинальном напряжении;

повышая напряжение, при необходимости увеличить мощность двигателя, частоту вращения также повысить (на холостом ходу напряжение не должно быть больше номинального);

не допускать превышение максимально допустимого тока;

не превышать продолжительности работы двигателя, указанной изготовителем;

при температуре окружающей среды выше 40 °С снижать нагрузку путем уменьшения напряжения на клеммах.

Если модель не развивает уже достигавшейся ею скорости или мощности, проверяют напряжение на клеммах двигателя под нагрузкой. Если оно соответствует номинальному, то, вероятнее всего, неисправен двигатель. Если же напряжение ниже номинального, неисправность следует искать в блоке питания.

Устройства регулирования частоты вращения электродвигателя рассмотрены здесь на примере аппаратуры радиоуправляемых моделей. Однако соответствующие схемы могут быть установлены и на обычных моделях для изменения режима работы двигателя вручную.

8.1. Выключатель

Простейшим регулятором частоты вращения двигателя является выключатель. Его устанавливают на моделях, передвигающихся только с одной скоростью, например на глиссирующих. Особым случаем его применения является переключатель скорости в комбинации с регулятором хода.

Выключатель, устанавливаемый последовательно с двигателем и источником питания (рис. 204), обеспечивает замыкание цепи питания двигателя. Для торможения двигателя во включенном состоянии прибегают обычно к замыканию якорной цепи (см. штриховую линию на рис. 204) накоротко. Подобный пример был уже описан в случае авиамоделей с воздушным винтом, для складывания лопастей которого двигатель должен остановиться.

Обычно на модель ставят оснащенный пружиной микровыключатель, приводимый в действие сервомеханизмом (рис. 205). Такие выключатели могут пропускать большие токи и срабатывать

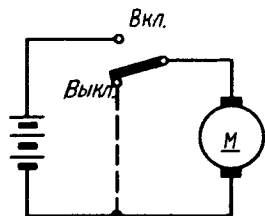


Рис. 204. Цепь питания электродвигателя с выключателем

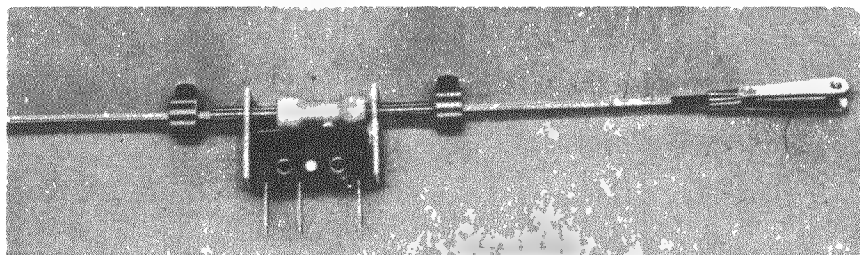


Рис. 205. Выключатель с тягой сервомеханизма

в точно определенный момент. Для приведения микровыключателя в действие иногда применяют сервомеханизмы, обеспечивающие перекладку руля. Однако такое решение имеет определенные недостатки и поэтому находит место только на моделях, для которых важна экономия каждого грамма массы, например, на глиссирующих и летающих моделях с электроприводом.

На глиссирующей модели, например, в этом случае переключатель переводится в положение «Выкл.» с помощью рулевого сервомеханизма, если ручка управления на передатчике отклонена до предельного положения. При переводе ручки в среднее положение двигатель включается. Повторное его выключение происходит при следующем полном отклонении ручки.

На летающей модели выключатель может быть выполнен так, чтобы он включал цепь питания при полном отклонении руля высоты вверх и выключался при перекладке его вниз. Точка включения может быть точно отрегулирована путем перемещения кулачка на тяге управления.

Однако при каждом срабатывании выключателя модель совершает непредусмотренный маневр, что создает трудности при ее управлении, особенно нежелательные для начинающих моделлистов. Кроме того, при каждом переключении излучается электромагнитный импульс, создающий помехи радиоаппаратуре. Поэтому для повышения надежности и управляемости модели лучше приводить выключатель в действие с помощью отдельного сервомеханизма.

Применение выключателя с сервомеханизмом является лишь одним из вариантов решения. Другой вариант — применение электронного выключателя. При этом может быть использовано реле, контакты которого рассчитаны на большой ток, а работа определяется командами, формируемыми дополнительной электронной схемой. Электронный выключатель можно подключить к выходу канала управления приемника аппаратуры дистанционного управления. Такой выключатель, называемый также переключателем скорости, входит, как и сервомеханизм, в комплект этой аппаратуры (рис. 206). Однако он может быть установлен



Рис. 206. Электронное переключающее реле (аппаратура *Simprop*) и электронный переключатель (аппаратура *Microprop*)

и самим моделнстом в качестве дополнительного элемента к аппаратуре (рис. 207).

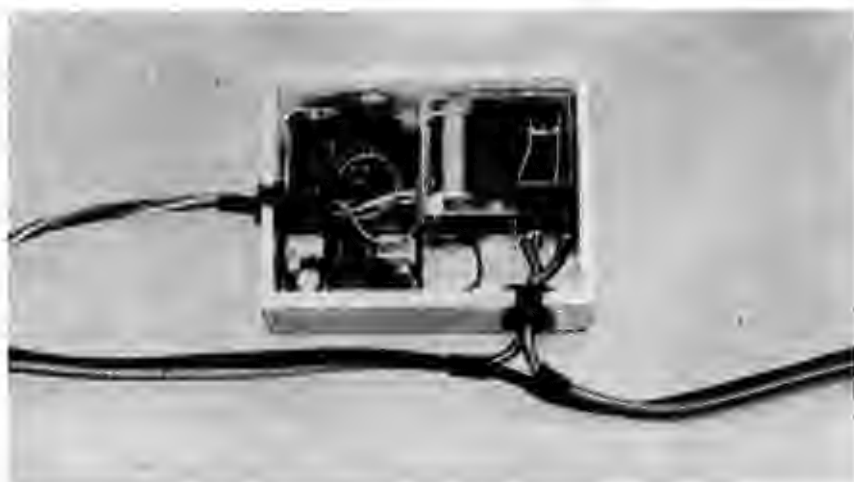
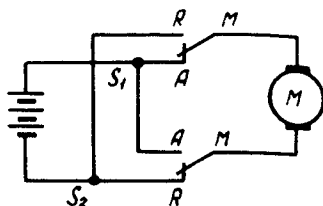


Рис. 207. Встроенный электронный переключатель (корпус открыт)

Рис. 208. Двигатель с переключателем полярности напряжения



8.2. Переключатель полярности

Более сложной формой регулятора частоты вращения является переключатель полярности, предназначенный для изменения направления вращения двигателя. Чаще всего он используется в комбинации с плавным или ступенчатым регулятором хода для изменения направления движения модели.

Изменение полярности напряжения на клеммах электродвигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов влечет за собой его реверс (рис. 208). Усилие для срабатывания микровыключателя в этом случае может быть передано через тягу (рис. 209) или кулачками, сидящими непосредственно на оси сервомеханизма (рис. 210).

В переключателе (рис. 211) на ползунке сервомеханизма закреплены контакты, скользящие по соответствующим контактным дорожкам в крышке. В сущности, речь здесь идет о модифицированном сервомеханизме. Срабатывание переключателя полярности можно осуществлять и с помощью электронной аппаратуры. Например, к одному пропорциональному каналу могут быть подключены два реле так, что, если ручка управления находится в среднем положении, оба реле остаются в нерабочем положении, а при повороте ручки притягивается якорь соответствующий

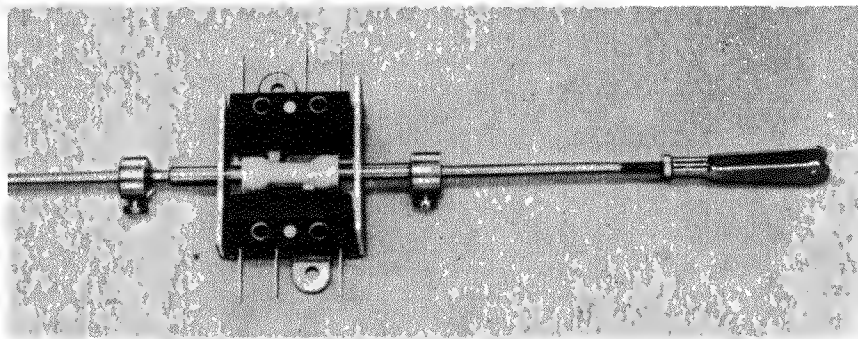


Рис. 209. Переключатель полярности, приводимый в действие тягой сервомеханизма

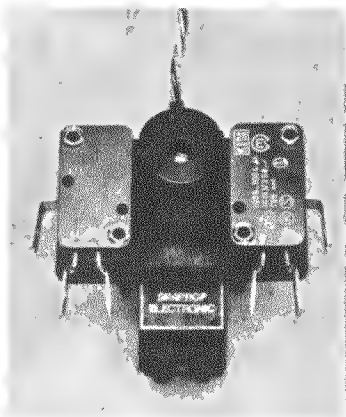


Рис. 210. Переключатель полярности, приводимый в действие кулачками, сидящими на оси сервомеханизма

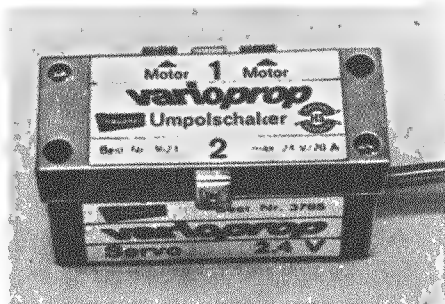


Рис. 211. Переключатель полярности (аппаратура *Varioprop*)

щего реле. Такие переключатели входят как составные части в некоторые образцы аппаратуры дистанционного управления (рис. 212).

Другой переключатель полярности (рис. 213) предназначен в основном для установки на авиамоделях и позволяет изменять направление тяги воздушного винта, чтобы моделист мог быстро и точно посадить модель. Этот переключатель дополнительно оборудован схемой защиты аккумуляторов от разряда ниже допускаемого уровня (см. главу 9). Напряжение, при котором срабатывает эта схема, устанавливается в зависимости от числа и на-

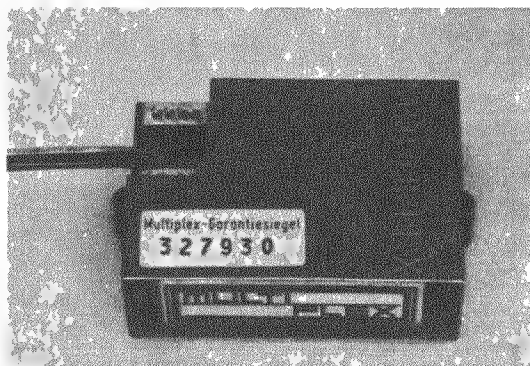


Рис. 212. Электронный переключатель полярности (аппаратура *Multiplex*)

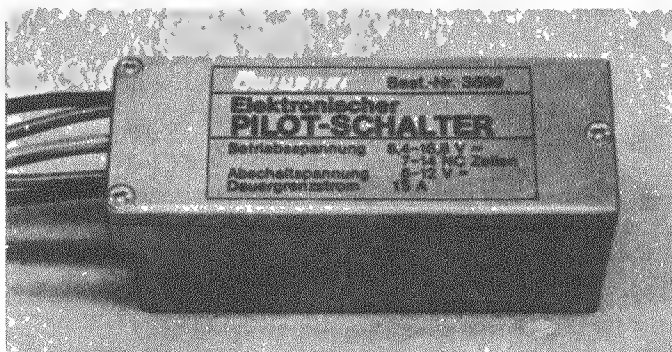


Рис. 213. Электронный переключатель, срабатывающий при пороговом сигнале (аппаратура *Varioprop*)

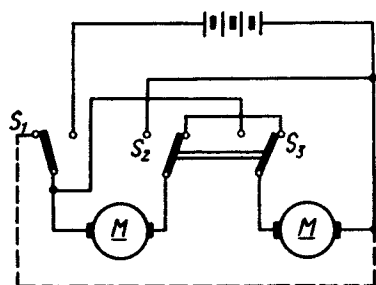
грузки аккумуляторов. Оно составляет 0,8—1,0 В на аккумулятор.

8.3. Ступенчатый регулятор хода

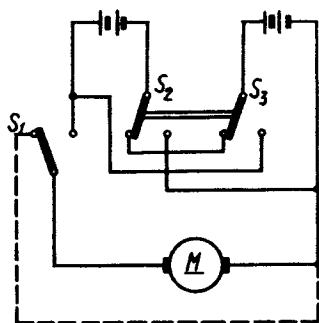
Для того чтобы модель копировала прототип и в движении, необходима возможность регулирования частоты вращения ходового двигателя хотя бы дискретно (прерывисто). В зависимости от особенностей модели число переключаемых скоростей вращения двигателя, а также значения этих скоростей можно сделать любыми. На практике, однако, достаточно иметь три-четыре скорости с возможностью изменения направления вращения двигателя. Большое число скоростей вряд ли дает какие-либо преимущества, аппаратура же значительно усложняется.

Если достаточно двух частот вращения, то можно использовать последовательно-параллельное включение. При этом необходимо, чтобы привод модели имел два двигателя или один, но при четном числе аккумуляторов в их батарее. Такое включение имеет то преимущество, что все аккумуляторы нагружаются и, следовательно, разряжаются равномерно. Правда, все аккумуляторы должны иметь одинаковые сроки службы, заряды и емкости. Поэтому, если это возможно, следует предпочитать последовательно-параллельное включение двигателей (рис. 214).

При включении двух электродвигателей по схеме, показанной на рис. 214, а, вначале переключатель S_1 подает напряжение питания на последовательно соединенные двигатели. Оно распределяется по обоим двигателям примерно поровну. При этом двигатели вращаются с частотой, вдвое меньшей номинальной. Затем срабатывают переключатели S_2 и S_3 , при этом оба двигателя



а)



б)

Рис. 214. Последовательно-параллельное включение:

а — двух электродвигателей; б — двух аккумуляторов.

Штриховыми линиями обозначены перемычки для короткого замыкания двигателей

подключаются параллельно аккумуляторам и начинают работать с полной частотой вращения.

В соответствии со схемой, показанной на рис. 214, б, при срабатывании контакта S_1 двигатель начинает работу от двух последовательно соединенных аккумуляторов. После срабатывания контактов S_2 и S_3 аккумуляторы подключаются к двигателю параллельно.

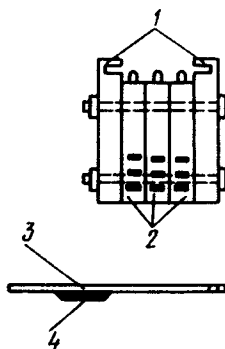
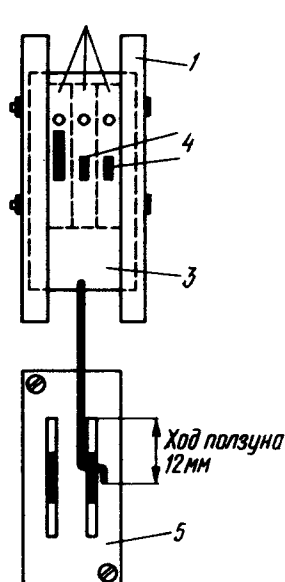


Рис. 215. Последовательно-параллельный переключатель:

1 — направляющая; 2 — микровыключатель; 3 — пластина; 4 — кулачок; 5 — сервомеханизм

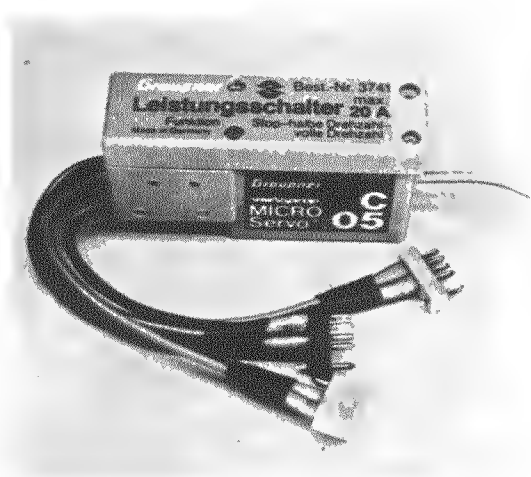


Рис. 216. Последовательно-параллельный переключатель мощности (аппаратура *Varioprop*)

Последовательно-параллельное включение на практике может быть реализовано различными способами. Ползунковый переключатель (рис. 215) имеет то преимущество, что может быть легко собран для любой комбинации переключения. Три микровыключателя собирают в один пакет, сжатый по бокам направляющими, между которыми скользит пластина. На той стороне пластины, которая обращена к микровыключателям, приклеены кулачки, при передвижении пластины нажимающие на кнопки микровыключателей. Порядок включения кулачков определяется их длиной и взаимным расположением. Перемещение пластины может осуществляться сервомеханизмом напрямую или через рычажную передачу, которая позволяет более точно отрегулировать ход перемещения.

Схемы, приведенные на рис. 214, отличаются только расположением двигателей и аккумуляторов. Поэтому на первый взгляд кажется очевидным, что в обоих случаях можно использовать один и тот же переключатель, представленный на рис. 215, или подобный ему переключатель промышленного производства (рис. 216). Однако положение его контактов, соответствующее скорости модели, вдвое меньшей максимальной, должно предшествовать положению, при котором скорость максимальна. Поэтому пластина с кулачками должна быть повернута на 180° при каждом переходе от одной схемы к другой. Конечно, можно изготовить и другую пластину с иной последовательностью расположения кулачков.

Переключатель мощности и полярности, изображенный на рис. 217 и 218, работает подобно описанному выше. Однако уп-

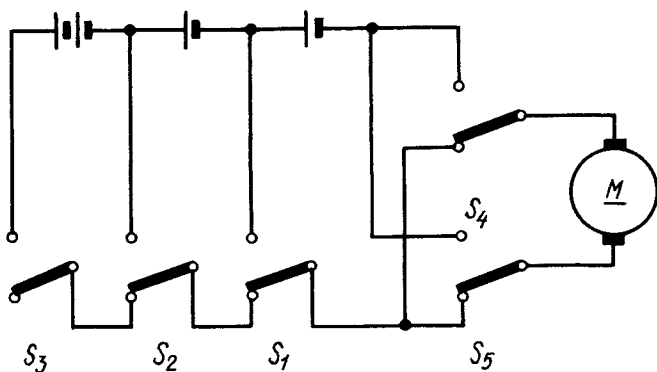


Рис. 217. Трехступенчатый переключатель частоты и направления вращения электродвигателя (с пятью микровыключателями)

равляющее воздействие сервомеханизма на пластину здесь производится в обоих направлениях относительно ее среднего положения. Соответственно, кулачки, обеспечивающие переключение мощности, расположены симметрично относительно этого положения. По мере смещения пластины из среднего положения к двигателю подключается все большее число аккумуляторов, увеличивая частоту его вращения. Понятно, что число микровыключателей в пакете можно увеличить, чтобы изменение скорости модели было более плавным, однако при этом повышаются требования к точности срабатывания сервомеханизма.

Изменять напряжение на клеммах двигателя можно также посредством включения в цепь питания различных балластных

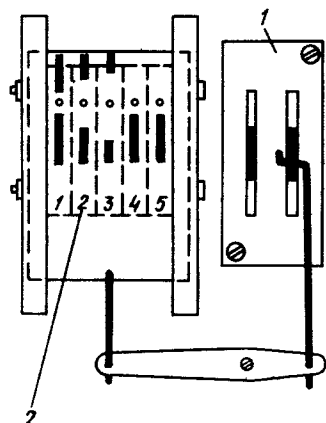


Рис. 218. Расположение кулачков на пластине (к схеме, показанной на рис. 217):

1 — сервомеханизм; 2 — микровыключатели

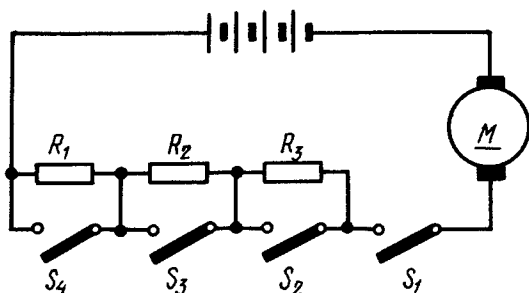


Рис. 219. Четырехступенчатый переключатель частоты вращения электродвигателя с балластными резисторами

резисторов. Так как изменение напряжения здесь зависит от нагрузки, постоянную частоту вращения двигателя обеспечить нельзя. Еще одним недостатком является потеря мощности на балластном резисторе. Схема переключателя с балластными резисторами и расположение кулачков на переключающей пластине для него показаны на рис. 219 и 220. Переключатель рассчитан на четыре скорости хода модели в одном направлении, однако это число может быть увеличено путем увеличения числа микровыключателей и соответствующих балластных резисторов. Зная величину тока и напряжения, необходимых для получения требуемой скорости, можно рассчитать сопротивление резистора по закону Ома, а теряемую на нем мощность — по уравнению (35), подставив в него сопротивление балластного резистора вместо сопротивления якорных обмоток. Окончательное значение сопротивления резистора определяют по результатам ходовых испытаний модели. Переключатель, изображенный на рис. 220, можно дополнить двумя микровыключателями для реверса двигателя.

Преимуществом описанных выше переключателей является то, что при относительной простоте их конструкции (всего один сервомеханизм и несколько микровыключателей) можно добиться достаточно точного копирования моделью движения прототипа.

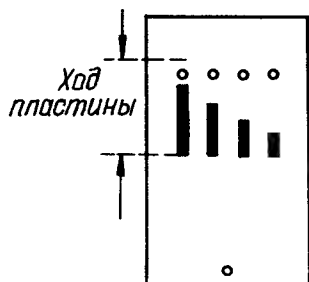
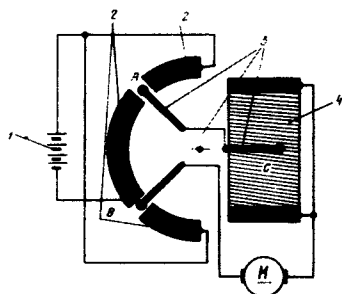


Рис. 220. Расположение кулачков на пластине (к схеме, показанной на рис. 219)

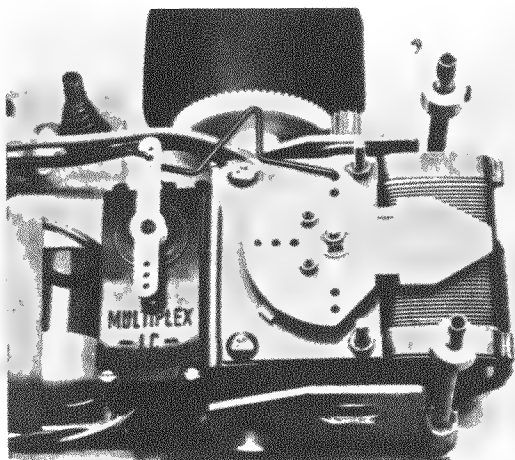
8.4. Регулятор хода

Наиболее точное соответствие хода модели ходу прототипа обеспечивают устройства плавной регулировки частоты вращения электродвигателя. Современная электронная аппаратура позволяет изменять частоту вращения ходовых двигателей в обоих направлениях практически при всех встречающихся на практике токах (до 100 А!). Эти устройства называют регуляторами хода, хотя правильнее было бы их назвать регуляторами частоты вращения.

В простейшем случае такой регулятор представляет собой балластный резистор, сопротивление которого может плавно изменяться (рис. 221). Управляют работой этого регулятора



а)



б)

Рис. 221. Регулятор хода с балластным резистором:

а — схема; б — образец; 1 — аккумуляторная батарея; 2 — контактные линии; 3 — ползунки; 4 — балластный резистор, 4 Ом

через сервомеханизм. Ползунки *A* и *B* скользят по контактным шинам и в зависимости от своего положения обеспечивают подачу на двигатель напряжения той или иной полярности. Другими словами, положение этих ползунков определяет направление вращения двигателя. Положение ползунка *C*, скользящего по балластному резистору, определяет величину напряжения, подаваемого на двигатель, и тем самым частоту его вращения.

Этот простой регулятор может быть установлен на модели автомобиля и не требует отводов от батареи аккумуляторов.

Конечно, в рассмотренной конструкции необходимо считаться с мощностью, теряемой на балластном резисторе. Эти потери можно в значительной мере снизить, если напряжение на двигатель подавать в виде импульсов постоянной амплитуды (рис. 222). При пуске на двигатель подаются узкие импульсы напряжения, ширина которых увеличивается по мере роста частоты вращения двигателя до тех пор, пока при разгоне его до номинальной частоты импульсы не сливаются и начинается подача постоянного напряжения. Достоинством такого способа регулирования частоты вращения является надежная работа двигателя.

Для работы рассмотренного регулятора хода необходима электронная схема, которая представляет собой импульсный генератор, формирующий импульсы регулируемой ширины. Импульсы усиливаются и через транзистор усилителя мощности подключают источник питания к двигателю. Эти подключения и отключения производятся настолько быстро (с частотой пример-

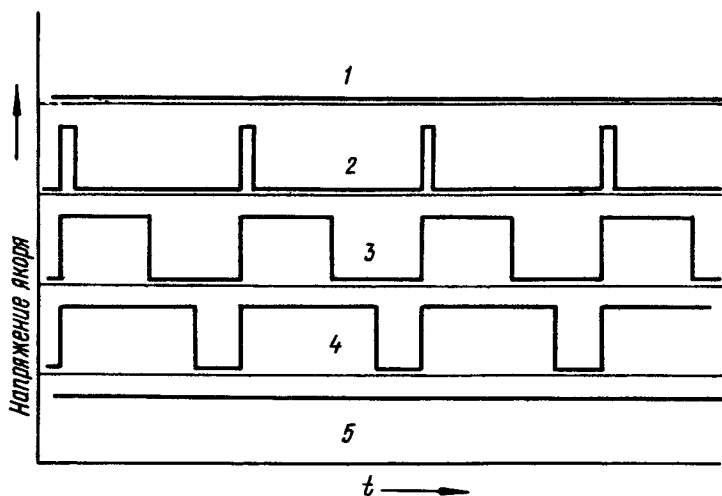


Рис. 222. Импульсное напряжение на якоре для регулирования частоты вращения электродвигателя:

1 — стоп; 2 — трогание с места; 3 — частота вращения вдвое ниже номинальной; 4 — частота вращения составляет 3/4 номинальной; 5 — номинальная частота вращения

но 50 Гц), что двигатель благодаря своей инерционности интегрирует импульсы напряжения, вращаясь с частотой, пропорциональной их ширине, т. е. подает напряжение, постоянное по значению. Напряжение на транзисторе также падает, однако потери при этом значительно ниже, чем на балластном резисторе. Кроме того, в режиме «Номинальная частота вращения» этот транзистор может быть шунтирован микровыключателем скорости и потери мощности могут быть исключены.

В регуляторе хода такого типа, собранном в условиях лаборатории (рис. 223), сервомеханизм через тягу перемещает ползунок потенциометра, тем самым изменяя время такта генератора импульсов. Этот регулятор может подавать на двигатель ток до 10 А при напряжении источника питания 25 В. Это соответствует мощности 250 Вт, которая необходима только для больших моделей судов и кораблей.

Так как управление работой описанного регулятора хода осуществляется с помощью сервомеханизма, в его схему можно ввести микровыключатель, играющий роль переключателя скорости. А для обеспечения реверса двигателя необходима уже достаточно сложная конструкция регулятора, поэтому в этом случае лучше использовать электронный регулятор без механических элементов. При таком решении сервомеханизм вообще не нужен; регулятор хода подключается к выходу соответствующего канала приемника, а с выхода самого регулятора снимается напряжение для питания электродвигателя. Это напряжение является также постоянным и пульсирующим, получаемым усилением канальных импульсов, поступающих с выхода приемника. Усиленные импульсы переключают транзистор усилителя мощности. Реверс двигателя осуществляется с помощью реле изменения полярности.

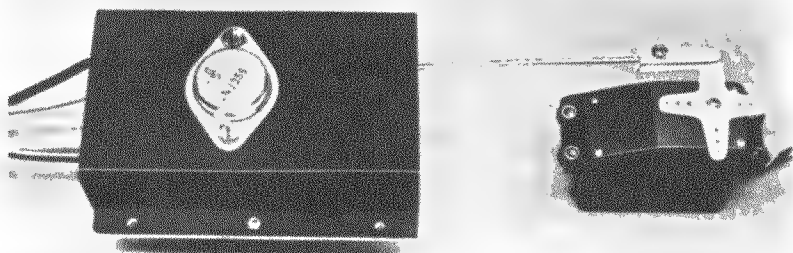


Рис. 223. Электронный регулятор хода с приводом от сервомеханизма

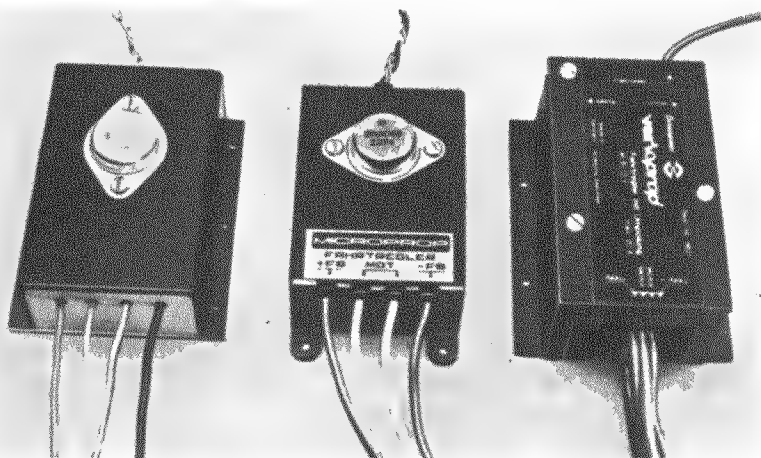


Рис. 224. Электронные регуляторы хода: самодельный (слева), от аппаратуры *Microprop* (в центре) и от аппаратуры *Varioprop* (справа)

Электронные регуляторы хода различного производства имеют примерно одинаковую форму (рис. 224). Алюминиевая крышка такого регулятора одновременно играет роль радиатора для транзистора усилителя мощности. Эти регуляторы рассчитаны на работу двигателей мощностью до 250 Вт. Однако регулирования частоты вращения еще более мощного двигателя нельзя добиваться параллельным включением нескольких регуляторов хода. В этом случае целесообразно использование системы (рис. 225), состоящей из блока управления, двух силовых блоков (8/10 А и 15/20 А), а также переключателя скорости. К блоку управления можно подключить до трех силовых блоков. Например, при подключении трех блоков 15/20 А с помощью одного канала управления на сервомеханизм модели можно подавать внушительную мощность — до 1500 Вт, сохраняя при этом возможность плавного регулирования ее величины и изменения полярности напряжения. Правда, при максимальной нагрузке необходимо охлаждение блоков с помощью вентилятора.

Основные правила работы с электронными устройствами: следить за правильностью полярности подаваемого на регулятор напряжения. При необходимости изменения направления вращения двигателя поменять местами провода, подающие напряжение на двигатель, но не на регулятор хода;

предотвращать возможность короткого замыкания. Ни в коем случае не касаться клемм двигателя, а также не допускать контакта проводов электропитания с корпусом или транзистором регулятора;



Рис. 225. Система регулирования хода (аппаратура *Multiplex*)

не допускать резкой остановки двигателя. Для его защиты в цепь подачи напряжения на двигатель установить соответствующий предохранитель;

обеспечить достаточное охлаждение регулятора. По возможности поток охлаждающего воздуха направлять через регулятор, для чего на модели предусмотреть входное и выходное отверстие для потока (в крайнем случае над регулятором должно быть отверстие для выхода нагретшегося воздуха);

оборудовать двигатель эффективным противопомеховым фильтром, все электрические соединения на электродвигателе сделать надежными. В ином случае помехи, излучаемые двигателем, могут привести к нарушению правильности работы регулятора;

обеспечить защиту двигателя от влаги. Вода, попавшая в двигатель, может нарушить контролируемость хода модели и вывести ее из строя;

не подключать к двигателю параллельно два регулятора или более. Появляющиеся при этом токи компенсации могут вывести из строя электронную аппаратуру. Несколько двигателей могут быть (последовательно или параллельно) подключены к одному регулятору хода, если это позволяют предельные значения его тока и напряжения (10 А/25 В);

по окончании ходовых испытаний отключить аккумуляторы от регулятора. Хотя при выключенном приемнике ток и составля-

ет всего несколько миллиампер, этого достаточно для полного разряда аккумуляторов.

Кроме того, полезно помнить, что кремниевые транзисторы, установленные в оконечном каскаде, допускают кратковременную двойную перегрузку по току. Время перегрузки в зависимости от ее величины составляет 10—30 с.

Для снижения нагрузки аккумуляторов приемника целесообразно, чтобы якорь реле изменения полярности был притянут только на мало используемых режимах хода (например, на заднем ходу). В зависимости от типа катушка реле потребляет ток от 50 до 100 мА, который значительно укорачивает срок службы аккумуляторов.

Выбор источника электропитания для ходового двигателя зависит в первую очередь от модели и лишь во вторую от двигателя. Но прежде моделист должен уяснить для себя: какие габариты должен иметь источник, может ли он состоять из нескольких частей (что облегчит дифферентовку модели), какова его максимально допустимая масса и как снижение заряда источника может сказаться на ходовых характеристиках модели.

Основными параметрами электродвигателя, учитываемыми при выборе источника электропитания, являются: напряжение на клеммах под нагрузкой, номинальный и максимальный ток, а также время работы.

подавляющее большинство источников электропитания составляют электрохимические элементы. Они состоят из положительного и отрицательного электрода, а также электролита, чаще всего жидкого. Несколько элементов могут быть соединены в батарею. В зависимости от типа и способа преобразования ими химической энергии в электрическую источники электропитания делятся на первичные и вторичные. В первичных электродах химически расходуется в процессе разряда элемента, в результате чего этот процесс становится необратимым, одноразовым. Вторичные элементы могут быть многократно разряжены и вновь заряжены, т. е. являются источниками электропитания много разового использования. Их называют аккумуляторами.

На аккумуляторе указываются две его основные характеристики: напряжение на клеммах (которое наносится и на корпусе первичного элемента) и емкость. Емкость определяется как произведение тока разряда на времени:

$$K = I_{\text{разр}} t, \text{ А} \cdot \text{ч (мА} \cdot \text{ч)}, \quad (46)$$

где $I_{\text{разр}}$ — ток разряда, А (мА); t — время разряда, ч.

Однако значения напряжения на клеммах и емкости, указываемые на аккумуляторах, справедливы только для определенных условий эксплуатации.

Первым таким условием является температура. Все характеристики, указываемые для аккумулятора, предусматривают температуру окружающей среды 20 °С. При снижении температуры напряжение на клеммах и емкость падают (при замерзании

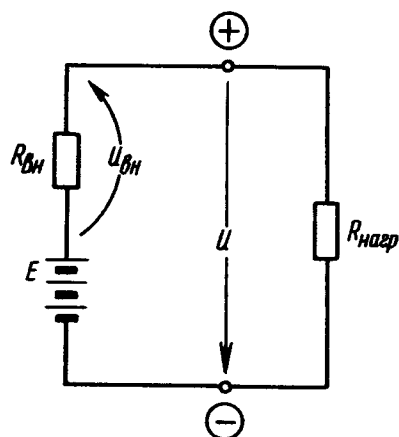


Рис. 226. Схема включения двигателя в цепь электропитания

электролита емкость уменьшается до нуля), а при возрастании незначительно увеличиваются. Для предотвращения выхода аккумулятора из строя всегда указываются верхний и нижний пределы температуры, при которой этот аккумулятор можно использовать.

Второе условие — определенная величина нагрузки. Потребителем энергии аккумулятора является двигатель, представленный на схемах в виде резистора нагрузки $R_{нагр}$ (рис. 226). Источник электропитания обеспечивает первоначальное напряжение E и имеет внутреннее сопротивление $R_{вн}$. По правилам расчета электрической цепи получаем:

$$E = U_{вн} + U \quad (47)$$

или

$$U = E - IR_{вн}, \quad (48)$$

так как

$$U_{вн} = IR_{вн}, \quad (49)$$

где E — первоначальное напряжение, В; $U_{вн}$ — внутреннее падение напряжения источника электропитания, В; U — напряжение на клеммах, В; I — ток нагрузки, А (мА); $R_{вн}$ — внутреннее сопротивление источника электропитания, Ом (мОм).

Уравнение (48) позволяет сделать два вывода.

1. Напряжение на клеммах падает при повышении тока нагрузки. Этот эффект проявляется тем сильнее, чем больше внутреннее сопротивление аккумулятора по отношению к сопротивлению нагрузки. Напряжение на клеммах может даже упасть до

нуля, например, электродвигатель от стеклоочистителя не будет работать от одной батарейки от карманного фонаря. Низкое внутреннее сопротивление является признаком источника, способного выдерживать высокую нагрузку. К ним относятся, например, никелево-кадмиевые и серебряно-цинковые аккумуляторы. Несмотря на большие токи нагрузки, напряжение на клеммах при использовании этих аккумуляторов падает лишь незначительно.

2. Емкость аккумулятора указывается для определенного тока разряда. Так, например, для свинцовых аккумуляторов емкость относится к 20-часовому разряду. При этом емкость обозначается K_{20} , а номинальный ток разряда составляет:

$$I_{\text{разр}} = 0,05K_{20} = 1/20 K_{20} = I_{20}.$$

В технической литературе ток разряда, относящийся к K_{20} , обозначается I_{20} .

Для никелево-кадмиевых аккумуляторов емкость относится к 5-часовому разряду и соответствующие величины обозначаются как K_5 и I_5 . Соответственно:

$$I_{\text{разр}} = 0,2K_5 = 1/5K_5 = I_5.$$

Для многих никелево-кадмиевых и серебряно-цинковых аккумуляторов указывается емкость для одночасового разряда.

Внутреннее сопротивление источника электропитания обуславливает потерю энергии в виде тепла. Эта потеря пропорциональна току разряда и проявляется в виде уменьшения емкости. Если, например, цинковый аккумулятор нагрузить током разряда $I_{\text{разр}} > I_{20}$ или никелево-кадмиевый аккумулятор током $I_{\text{разр}} > I_5$, то оставшаяся емкость будет меньше указанной на аккумуляторе. При разряде большим током вследствие измененных химических процессов в активном слое появляются дополнительные потери емкости. Это касается как первичных, так и вторичных элементов, хотя для первичных емкость и не указывается. Потерю емкости при нагрузке аккумулятора током, превышающим номинальный, следует учитывать при расчете времени его работы.

На аккумуляторе указываются также напряжение в конце заряда и разряда. Первое из них указывает, когда аккумулятор полностью заряжен и процесс должен быть прекращен. Аккумуляторы большинства типов не боятся перезаряда, однако их емкость при этом не увеличивается.

Напряжение в конце разряда указывает предел, при разряде ниже которого аккумулятор может быть выведен из строя. Особенно опасен разряд ниже указанного предела для батарей из нескольких аккумуляторов. Поскольку емкости аккумуляторов могут быть различны, напряжение одного или нескольких из них

может достичь нуля. Дальнейший ток разряда вызывает изменение полярности аккумулятора, что влечет за собой неизбежную его порчу.

Все первичные и вторичные источники электропитания подвержены большему или меньшему саморазряду. Первичные элементы после определенного времени хранения становятся непригодными к эксплуатации, а аккумуляторы необходимо время от времени подзаряжать. Срок службы аккумуляторов ограничен и зависит от их типа. Его измеряют временем работы аккумулятора или количеством циклов заряда-разряда.

Напряжения на клеммах наиболее распространенных источников приведены в табл. 9. Из таблицы видно, что для получения требуемого напряжения на клеммах электродвигателей, применяемых на моделях, необходимо объединять в батарею несколько аккумуляторов. Верхним пределом для моделей, участвующих в спортивных соревнованиях, является напряжение 42 В. Это напряжение определено условиями безопасности.

Таблица 9

Напряжение на клеммах источников электропитания, устанавливаемых на моделях

Источник	Напряжение на клеммах, В
Первичный угольно-цинковый элемент	1,5
Аккумулятор:	
свинцовый	2,0
никелево-кадмиевый	1,2
серебряно-цинковый	1,5

Для двигателя, напряжение на клеммах которого, например, равно 12 В, на модели необходимо последовательно соединить (рис. 227)

8 угольно-цинковых батарей, или 6 свинцовых, или 10 никелево-кадмиевых аккумуляторов (см. табл. 8). Напряжение батарей рассчитывают по формуле:

$$U_{\text{бат}} = nU_{\text{ист}}, \quad (50)$$

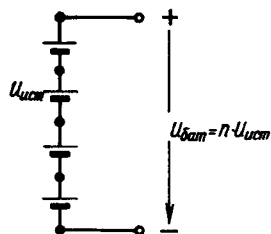


Рис. 227. Включение нескольких аккумуляторов в одну батарею

где $U_{\text{бат}}$ — напряжение на клеммах батареи, В; n — число источников в батарее; $U_{\text{ист}}$ — напряжение на клеммах источника, В. При последовательном соединении число первичных элементов не ограничивается, но вторичных элементов рекомендуется соединять не более 10. Если это требование выполнить не удастся, то лучше разбить батарею на две или три, содержащих меньшее число аккумуляторов. Такие батареи удобнее и для размещения в модели.

На практике часто приходится собирать источники электропитания в батареи. Это делают, например, для переносной радиоаппаратуры, измерительных и контрольных приборов. Иногда батареи могут быть взаимозаменяемыми. Так, батарею из четырех угольно-цинковых элементов можно заменять батареей из свинцовых или никелево-кадмиевых аккумуляторов (рис. 228).

Если емкости имеющегося источника электропитания недостаточно, чтобы обеспечить работу модели в течение заданного времени, то ее можно увеличить посредством параллельного включения нескольких источников электропитания. Однако при этом необходимо следить, чтобы источники были одного типа, одного срока изготовления и имели одинаковые заряды. Для предотвращения появления уравнивающих токов между источниками, которые снижают их емкость, можно использовать последовательно-параллельное включение (рис. 229). Так как в таких батареях источники прирабатываются друг к другу, их не следует без необходимости заменять. Емкость отдельных источников следует постоянно замерять, чтобы вовремя выявить источник со слиш-

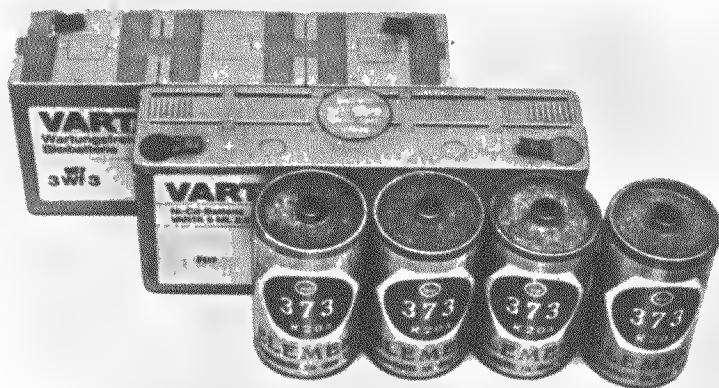
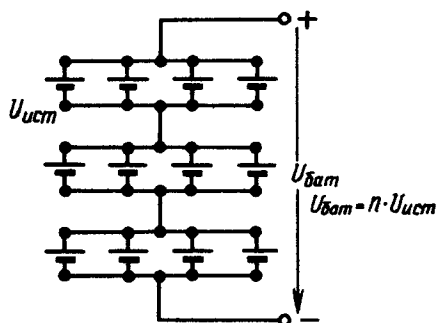


Рис. 228. Взаимозаменяемые батареи, составленные из различных источников электропитания: из угольно-цинковых элементов (впереди), никелево-кадмиевых (в середине) и свинцовых (сзади) аккумуляторов

Рис. 229. Последовательно-параллельное включение источников для повышения емкости батарей



ком малым зарядом и дозарядить или заменить его. Ток разряда рассчитывают по формуле:

$$I_{разр} = nI_{ист}. \quad (51)$$

Всегда целесообразнее применять батарею, емкость которой соответствует характеристикам двигателя, чем самому собирать ее посредством параллельного включения отдельных элементов.

Необходимо выполнять правила техники безопасности при работе с аккумуляторами.

Электролиты оказывают сильное разъедающее действие. При работе с открытыми аккумуляторами нужно надевать защитные очки и резиновые перчатки. Если на руки попала кислота, их следует сразу же вымыть с мылом и сполоснуть большим количеством воды. Руки, на которые попал едкий калий, промывают разбавленной уксусной кислотой (1:6). Глаза при попадании кислоты или щелочи обрабатывают 3 %-ной борной кислотой. Однако в любом случае после этого необходимо обратиться к врачу.

Электролит ни в коем случае нельзя всасывать ртом!

Открытые аккумуляторы с щелочным и кислотным электролитами нельзя заряжать в одном помещении. Помещения, в которых производится зарядка аккумуляторов, должны хорошо проветриваться. В эти помещения не должны попадать прямые солнечные лучи, в них нельзя входить с открытым огнем или, например, с зажженной сигаретой.

Во избежание короткого замыкания на аккумуляторы нельзя класть инструменты или другие металлические детали. При работе с аккумуляторами не следует надевать на себя какие-либо украшения.

9.1. Первичные источники электропитания

В настоящее время промышленность выпускает угольно-цинковые, щелочно-марганцевые, серебряно-цинковые, литиевые эле-

менты, а также элементы на основе окиси ртути. Из-за их высокой цены применение серебряно-цинковых и щелочно-марганцевых элементов, а также на основе окиси ртути ограничено в основном часами, фотоэкспонетрами, кинокамерами, слуховыми приборами и т. д. Это же можно сказать и о литиевых аккумуляторах, которые были разработаны прежде всего для космических аппаратов.

Таким образом, доступными для моделиста остаются угольно-цинковые элементы. Их можно использовать для привода моделей автомобилей (в масштабе 1:24 и 1:12) и небольших моделей судов (длиной примерно 600 мм). Однако при частых запусках моделей скоро становится ясно, что, несмотря на более высокую стоимость, применение аккумуляторов обходится дешевле.

Угольно-цинковые элементы во многих странах выпускают по рекомендации Международной электротехнической комиссии, поэтому такие элементы являются взаимозаменяемыми. Моделисты могут применять выпускаемые в ГДР цилиндрические элементы *R6*, *R14* и *R20*, а также плоские батареи *3R12* (рис. 230).

Перечисленные выше цилиндрические элементы различаются по назначению и конструкции:

для осветительных приборов;

для электропитания транзисторных приборов;

герметичные элементы.

Технические характеристики угольно-цинковых элементов перечислены в табл. 10. Эти элементы, особенно *R20*, могут кратковременно отдавать токи, составляющие несколько ампер. Однако при этом четко проявляется их типичное свойство — значительное уменьшение емкости при высоких нагрузках. Но после паузы в работе в течение нескольких часов напряжение на клеммах восстанавливается.

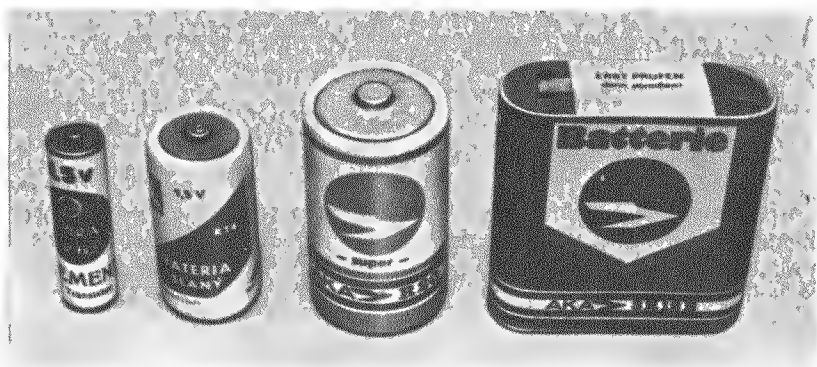


Рис. 230. Угольно-цинковые элементы. Слева направо:
R6, *R14*, *R20*, *3R12*

Характеристики угольно-цинковых элементов и батарей

Тип	Габариты, мм	Масса, г	Номинальное напряжение, В	Время разряда за сутки, ч	Сопротивление разряда, Ом	Время разряда, ч	Ток короткого замыкания, А	Напряжение разряда, В
<i>R6</i> (для транзисторной аппаратуры)	14,5×50	14	1,5	4	75	30	6	0,9
<i>R14</i>	26×50	50	1,5	Данных нет				
<i>R20</i> (для накаливаемых приборов)	34×60	95	1,5	0,5	5	11,5	9	0,75
<i>R20</i> (для транзисторной аппаратуры)	34×60	95	1,5	4	40	150	7	0,9
<i>R20</i> (герметичный)	34×60	105	1,5	4	5	15	18	0,9
<i>3R12</i> (для транзисторной аппаратуры)	67×62×22	125	4,5	4	225	100	6	2,7
<i>3R12</i> (для накаливаемых приборов)	67×62×22	125	4,5	0,17	15	3,5	4,5	2,25

Напряжение разряда элемента в большой степени зависит от нагрузки и падает при уменьшении емкости. На элементах и батареях указывается дата их выпуска. Если со времени выпуска прошло более шести месяцев, элемент не следует покупать. При длительных перерывах в работе угольно-цинковые элементы и батареи нужно вынимать из модели, так как вытекающий из них электролит может повредить аппаратуру.

9.2. Свинцовые аккумуляторы

Эти аккумуляторы уже давно используются для питания электродвигателей на моделях судов. Моделисты используют открытые элементы и их батареи, предназначенные для переносной электронной радиоаппаратуры (рис. 231), а также для мопедов и мотоциклов (рис. 232).

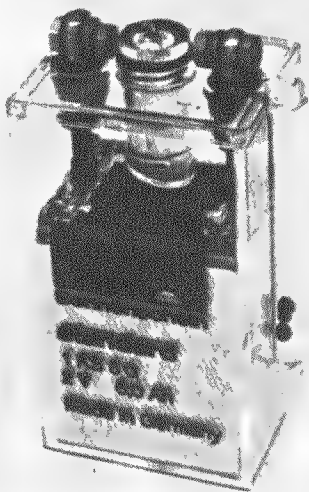
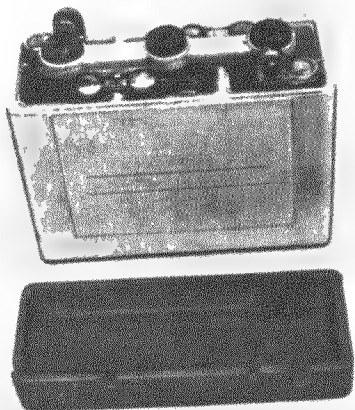
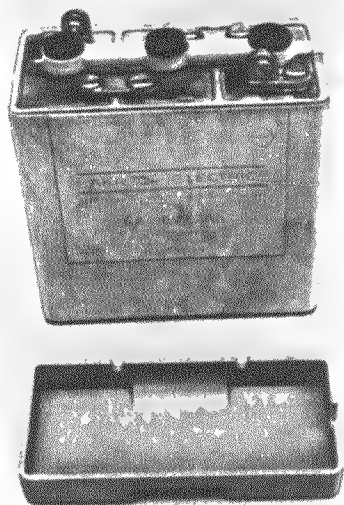


Рис. 231. Открытый свинцовый аккумулятор
2 В/6 А · ч



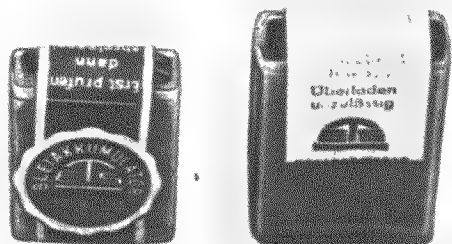
а)



б)

Рис. 232. Открытые свинцовые аккумуляторы:
а — для mopeda (6 В/4,5 А · ч); б — для мотоцикла (6 В/12 А · ч)

Рис. 233. Герметичные
свинцовые аккумуля-
торы 2 В/0,25 А·ч и
2 В/0,5 А·ч



В последнее время выпускается все больше герметичных и, следовательно, не требующих обслуживания свинцовых аккумуляторов (рис. 233). Чаще всего их применяют в подзаряжаемых карманных фонарях. Для переносных электронных приборов, ламп-вспышек, радиоприемников, телевизоров и магнитофонов используются аккумуляторы более высокой емкости (рис. 234). Герметичные свинцовые аккумуляторы по сравнению с открытыми имеют то преимущество, что могут быть установлены в модель в любом положении. Как открытые, так и герметичные аккумуляторы могут быть рассчитаны на длительный разряд или циклическую работу. Последние для моделлистов, как правило, удобнее.

У открытых свинцовых аккумуляторов при температуре 20 °С саморазряд составляет примерно 20 % в месяц, у герметичных — около 20 % за 6 месяцев. Так как разряженные, даже частично, свинцовые аккумуляторы теряют емкость вследствие химических превращений, протекающих в их пластинах, их необходимо подзаряжать во время хранения. Для открытых аккумуляторов время между подзарядками составляет 1 месяц, для герметичных — 6 месяцев. Моделлисты частенько забывают об этом, особенно зимой, в результате чего к новому сезону аккумуляторы теряют работоспособность. Срок службы свинцовых аккумуляторов составляет 150—200 зарядных циклов (от трех до пяти лет) при условии выполнения правил по их обслуживанию.

Особый интерес для моделлистов представляет способность свинцовых аккумуляторов кратковременно (до 30 с) выдерживать высокую нагрузку (для аккумуляторов емкостью 3 А·ч, например, составляющую до $I_{\text{разр. макс}} = 20 K_{20} = 400 I_{20}$; для аккумуляторов большей емкости это значение ниже). Необходимо помнить, что при нагрузке, требующей отдачи большого тока, аккумулятор сильно нагревается и требует эффективного охлаждения. Температура электролита, как правило, не должна превышать 45 °С. Разряда ниже предусмотренного уровня (напряжение в конце разряда 1,70 В на аккумулятор), даже при $I_{\text{разр}} =$



а)



б)

Рис. 234. Герметичные свинцовые аккумуляторы:

а — призматические 2 В/1 А·ч, 2 В/3 А·ч и 2 В/5,7 А·ч (слева направо); б — цилиндрические 2 В/2,5 А·ч, 2 В/5 А·ч (слева направо)

$=0,1 \times K_{20} = I_{10}$, следует избегать, так как при этом в свинцовых аккумуляторах появляется повышенное выделение илистого осадка на пластинах. Вследствие большой массы свинцовых аккумуляторов, приходящейся на единицу их емкости, они, несмотря на их способность выдерживать большие нагрузки, мало пригодны для питания мощных электродвигателей на глиссирующих моделях судов, а также на авиамоделях. Но благодаря новым технологическим методам, а также использованию новых материалов характеристики аккумуляторов в последнее время были улучшены. В результате авиамодель Х.-Д. Левина в 1979 г. с герметичными свинцовыми аккумуляторами новой конструкции (см. рис. 234, б) находилась в воздухе около 10 мин. Однако в основном свинцовые аккумуляторы, как и прежде, применяют для работы в нормальном режиме на больших моделях судов и автомобилей. Из отдельных аккумуляторов можно собрать батарею, напряже-

ние и емкость которой соответствуют установленному на модели двигателю. Для наиболее же часто используемых напряжений 6 и 12 В промышленность выпускает готовые батареи (рис. 235 и 236).

Заряд герметичных свинцовых аккумуляторов производится током $I_{\text{зар}}=0,1 K_{20}=I_{10}$ до напряжения в конце заряда $U_{\text{зар. макс}}=2,35$ В на один аккумулятор. С учетом низкого выделения газов малогабаритные аккумуляторы должны заряжаться при токе $I_{\text{зар}}=0,05 K_{20}$. Герметичные аккумуляторы не требуют особого обслуживания и ухода.

Иное дело — открытые свинцовые аккумуляторы. Сначала их необходимо заполнить аккумуляторной серной кислотой плотностью $1,28 \text{ г/см}^3$ так, чтобы ее уровень на 5 мм превышал уровень верхней кромки сепаратора. Через 4—5 ч, необходимых для пропитывания пластин, следует проверить уровень кислоты и при необходимости долить ее.

Первый заряд проводится током $I_{\text{зар}}=0,05 K_{20}=0,5 I_{10}$ в течение 25—30 ч. В конце заряда напряжение должно составить от 2,6 до 2,7 В на один аккумулятор, плотность кислоты при полном заряде — $1,28 \text{ г/см}^3$. Аккумулятор полностью заряжен, если эти значения не изменяются в течение последних 2 ч заряда. После этого необходимо проверить уровень кислоты и долить ее, если нужно. Разряд производится при токе от 0,1 до $0,3 K_{20}$, последующие заряды — при токе $I_{\text{зар}}=0,1 K_{20}=I_{10}$ до $U_{\text{зар. макс}}=2,7$ В. После трех зарядно-разрядных циклов аккумулятор готов к работе.

Потери электролита вследствие выделения газов при разрядах и испарениях пополняются доливкой дистиллированной воды.



Рис. 235. Герметичный свинцовый аккумулятор 6 В/3 А · ч



а)



б)

Рис. 236. Открытые никелево-кадмиевые:

а — аккумуляторы 1,2 В/4 А·ч (слева) и 1,2 В/8 А·ч; б — батареи 4,8 В/4 А·ч (слева) и 6 В/8 А·ч

Аккумуляторную серную кислоту следует добавлять только для восполнения пролитого электролита.

Открытые свинцовые аккумуляторы требуют постоянного ухода — контроля уровня электролита и дозаряда. При разряде уровень электролита снижается, поэтому его контроль проводится только на заряженном аккумуляторе. После добавления дистиллированной воды необходимо провести заряд в течение 1 ч, чтобы хорошо перемешать воду с электролитом.

9.3. Никелево-кадмиевые аккумуляторы

Никелево-кадмиевый аккумулятор был изобретен Эдисоном. Этот малогабаритный источник электропитания оправдал себя во многих областях применения благодаря своей надежности, большому сроку службы и более простому обслуживанию по сравнению со свинцовыми аккумуляторами.

Мощный толчок к использованию электродвигателей на моделях дало появление недорогих и способных выдерживать большие нагрузки аккумуляторов со спеченными пластинами. Они позволяют устанавливать мощные приводы на гоночных моделях автомобилей, глиссирующих моделях судов, а также на летающих моделях.

Никелево-кадмиевые аккумуляторы бывают открытыми и герметичными. Открытые аккумуляторы выпускаются в виде отдельных банок с пластмассовыми или стальными корпусами, а также в виде батарей (см. рис. 236). Они имеют емкость от 4 до 750 А·ч, однако для установки на моделях необходимы аккумуляторы лишь небольшой емкости.

Герметичность никелево-кадмиевых аккумуляторов обеспечивается благодаря тому, что образующиеся при их заряде газы поглощаются в ходе протекающих реакций. Эти аккумуляторы бывают с пастированными (рис. 237) и спеченными (рис. 238) пластинами. Аккумуляторы малой емкости выпускаются в виде цилиндрических элементов стандартных размеров. Из никелево-кадмиевых аккумуляторов, как и из свинцовых, можно собрать батарею. Промышленность выпускает также готовые батареи аккумуляторов со стандартными соединительными элементами (рис. 239).

Открытые и герметичные аккумуляторы с пастированными пластинами имеют относительно высокое внутреннее сопротивление. Они не пригодны для разряда при больших токах. При выполнении требований инструкции по уходу срок службы никелево-кадмиевых аккумуляторов достигает 10 лет, или 500 зарядно-разрядных циклов. При неполном разряде число таких циклов может достигать 1000.

Саморазряд в первый месяц у аккумуляторов с пастированными пластинами составляет около 20 %, со спеченными пласти-



Рис. 237. Герметичные никелево-кадмиевые аккумуляторы с пастированными пластинами. Слева направо:
 1,2 В/1 А · ч, 1,2 В/2 А · ч, 1,2 В/6 А · ч



Рис. 238. Герметичные никелево-кадмиевые аккумуляторы со спеченными пластинами. Слева направо:
 1,2 В/0,45 А · ч, 1,2 В/1,2 А · ч, 1,2 В/1,8 А · ч, 1,2 В/4 А · ч, 1,2 В/7 А · ч

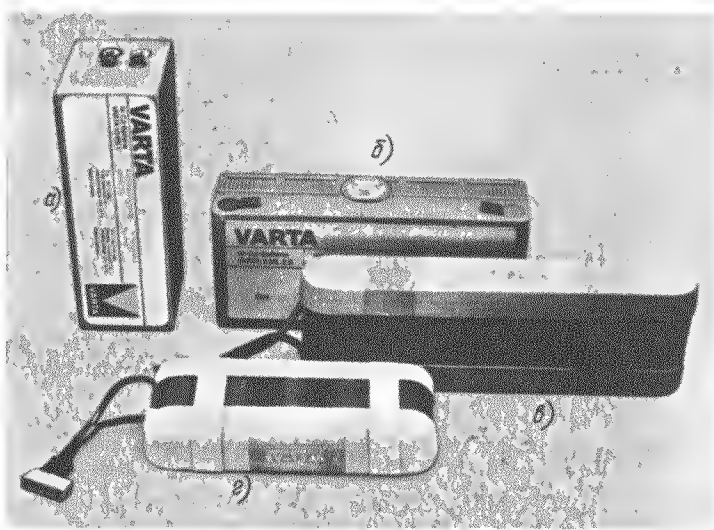


Рис. 239. Батареи из аккумуляторов со спеченными пластинами:
 а — 1,2 В/1 А · ч; б — 6 В/2,5 А · ч; в — 8,4 В/1, 2 А · ч; г — 6 В/1,2 А · ч

нами около 40 %. Эти источники электропитания могут быть разряжены или даже саморазряжены до нулевого напряжения без вреда для них. Поэтому отдельные аккумуляторы или батареи не требуют постоянной подзарядки. Для них опасно только изменение полярности при разряде батареи ниже установленного уровня.

Температура электролита при заряде, разряде и хранении открытых никелево-кадмиевых аккумуляторов не должна превышать 35 °С, а герметичных — 40 °С. Некоторые изготовители для аккумуляторов со спеченными пластинами в качестве допускаемой температуры указывают 50 °С и даже 60 °С, что свидетельствует о высоком качестве источников электропитания. Несмотря на это, следует принять за правило: температур свыше 25 °С следует по возможности избегать, так как они сокращают срок службы аккумулятора.

При подготовке к работе открытый никелево-кадмиевый аккумулятор следует залить едким кали плотностью 1,2 г/см³. В течение 3—5 ч пластины пропитаются электролитом и производится нормальный заряд током $I_{зар} = 0,2 K_5$.

При постоянной эксплуатации каждые три месяца, а также после зимнего хранения, смены электролита или в случае разряда отдельных аккумуляторов в батарее необходим подзаряд током $I_{зар} = 0,2 K_5$ в течение 16 ч. Так как плотность электролита здесь не изменяется во время заряда, она не может служить ме-

рой состояния заряда. Уровень и плотность электролита поддерживают постоянными, добавляя дистиллированную воду или разбавленный раствор едкого кали. Едкий кали необходимо менять через каждые 18 месяцев, так как он разлагается углекислым газом, содержащимся в воздухе. Перед заливкой свежей щелочи аккумулятор промывают дистиллированной водой.

Пластины должны быть покрыты жидкостью (электролитом).

Для аккумуляторов с пастированными пластинами напряжение в конце заряда составляет 1,65 В, напряжение в конце разряда — 1,0 В на один аккумулятор при токе разряда от 0,1 до 0,3 K_5 . Такие аккумуляторы выдерживают длительный ток разряда до 0,3 K_5 (сниженной емкости).

Аккумуляторы со спеченными пластинами благодаря их низкому внутреннему сопротивлению можно нагружать длительным током разряда до 10 K_5 , а кратковременно (100 с) даже до 40 K_5 (для аккумуляторов емкостью 1,2 А·ч). Так как аккумуляторы большой емкости имеют меньшую поверхность по отношению к их объему и охлаждаются хуже, их способность выдерживать нагрузку ниже, чем у аккумуляторов меньшей емкости.

Напряжение в конце разряда составляет:

при нагрузке током разряда 0,1 K_5 —1,1 В на один аккумулятор;

при нагрузке повышенным током 10,0 K_5 —0,75 В на один аккумулятор.

Низкое внутреннее сопротивление аккумуляторов со спеченными пластинами обуславливает возможность быстрого заряда. Это означает, что тепло, выделяющееся в аккумуляторе при его заряде, настолько мало, что заряд может производиться током, в несколько раз выше нормального, и, таким образом, в более короткое время: в течение 30 мин током 2 K_5 (некоторые изготовители указывают даже время 20 мин при токе 3 K_5). Таким образом, батарея из семи аккумуляторов емкостью 1,2 А·ч (батарея для летающей модели) может быть заряжена за 30 мин током 2,4 А.

Особенно удобно, что этот зарядный ток благодаря низкому напряжению на клеммах может быть получен от автомобильного аккумулятора напряжением 12 В. Поэтому аккумулятор может быть заряжен относительно быстро в месте запуска модели.

Два таких положительных качества аккумуляторов со спеченными пластинами, как способность выдерживать высокую нагрузку и возможность ускоренного заряда, способствовали быстрому распространению моделей с электрическим приводом в последние годы.

Поглощение газа в этих аккумуляторах позволяет заряжать их нормальным током $I_{зар}=0,1 K_5=I_{10}$ неограниченно долго без опасности повредить. Но ускоренный заряд можно применять только при дозарядке, когда емкость ниже нормальной. В ином случае наступает потеря емкости. На практике батарея обычно

разряжается до напряжения в конце разряда. При заряде током $2 K_5$ в течение 30 мин аккумулятор со спеченными пластинами достигает емкости, составляющей 80 % номинальной. Недостающие 20 % могут быть восполнены посредством нормального заряда без вреда для аккумуляторов. Если аккумулятор нагрелся на модели при разряде его высоким током (температура выше 30°C), то перед ускоренным зарядом он должен быть охлажден.

Контроль времени при ускоренном заряде надежно предотвращает аккумулятор от повреждения. Однако поскольку большинство зарядных устройств работают при снижающемся токе заряда, аккумулятор не всегда заряжается до емкости, соответствующей 80 % номинальной. Поэтому его можно заряжать несколько дольше, о конце заряда сигнализирует повышение температуры электролита. Если ускоренный заряд продолжается свыше 30 мин, то температуру аккумулятора следует контролировать через каждую минуту.

В случае преждевременного нагрева одного или нескольких аккумуляторов до 45°C заряд необходимо тут же прервать. Неравномерный нагрев является признаком выхода аккумулятора из строя. Аккумуляторы со спеченными пластинами всегда несколько отличаются друг от друга по емкости. Это различие усиливается при многократном разряде большим током и ускоренном заряде, но может быть выравнено уравнительным зарядом при токе $0,1 K_5$ в течение 30 ч. Такой заряд рекомендуется проводить время от времени. Те аккумуляторы, которые не достигают номинальной емкости в результате уравнительного заряда, должны быть заменены.

Признаком дефектных аккумуляторов является также их повышенный саморазряд. У исправного полностью заряженного аккумулятора напряжение на клеммах через неделю еще должно превышать 1,2 В.

В батарее каждый аккумулятор необходимо проверять отдельно. Изменение полярности вследствие разряда ниже установленного уровня у аккумуляторов со спеченными пластинами также ведет к длительной потере емкости. Особенно опасны в этом отношении разряды большими токами. Полностью способными к эксплуатации эти аккумуляторы становятся только после нескольких циклов заряда-разряда.

9.4. Серебряно-цинковые аккумуляторы

Серебряно-цинковые аккумуляторы обеспечивают очень высокую плотность энергии и имеют малую массу на единицу емкости. Поскольку, несмотря на высокую стоимость, они уже появились на судомоделях классов F1-E и F3-E, а также на некоторых летающих моделях с электродвигателем, следует остановиться на них.



Рис. 240. Серебряно-цинковые аккумуляторы

Несомненно, что в будущем эти аккумуляторы получат более широкое распространение.

Эти аккумуляторы выпускаются для нагрузки нормальным и повышенным током и имеют емкость K_1 от 0,5 до 120 А·ч. Для моделей наибольший интерес представляют аккумуляторы емкостью от 1 до 5 А·ч. Они помещены в призматический пластмассовый корпус с полюсными выводами и вентиляционным отверстием (рис. 240). В качестве электролита используется едкий калий плотностью 1,4 г/см³.

Аккумуляторы, рассчитанные на разряд большим током, имеют малый срок службы, составляющий примерно 6 месяцев, или от 5 до 30 зарядно-разрядных циклов. Максимальная рабочая температура 60 °С. Внутреннее сопротивление такого аккумулятора составляет несколько мегаом.

Для предотвращения слишком сильного газообразования в аккумуляторе заряд производят током 0,1 K_1 при напряжении до 2,0 В на один аккумулятор. Превышение этого значения приводит к повреждению аккумулятора.

Так как при разряде газы не образуются, аккумуляторы можно разряжать до довольно высокой степени (до тока 80 K_1). Это означает, что небольшой аккумулятор емкостью 1,5 А·ч (см. рис. 240) может отдавать ток 120 А. Иными словами, что серебряно-цинковые аккумуляторы в известной степени устойчивы к короткому замыканию.

9.5. Зарядные устройства

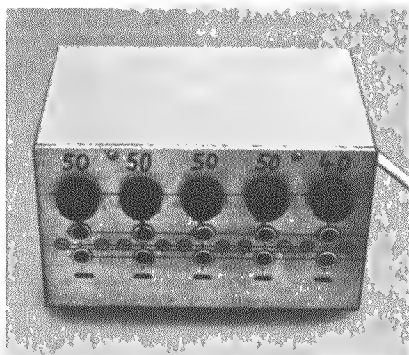
Современные зарядные устройства позволяют производить процесс заряда автоматически. Для работы с моделями вполне до-

Рис. 241. Зарядное устройство *Multilader* с выходами 10, 22, 2×50 , 100 и 500 мА при напряжении от 1,2 до 12 В

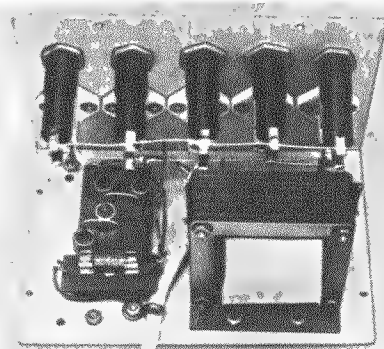


статочного универсального зарядного устройства, позволяющего заряжать любой аккумулятор, напряжение на клеммах которого не превышает 15 В. Устройство устойчиво к короткому замыканию и оборудовано простым контрольным индикатором. К приборам такого типа относится зарядное устройство *Multilader* (рис. 241).

Подобное устройство можно построить своими силами. Прибор, показанный на рис. 242, имеет пять выходов, каждый из ко-



а)



б)

Рис. 242. Самодельное зарядное устройство с пятью выходами по 50 мА при напряжении от 1,2 до 15 В:

а — лицевая сторона; б — вид внутри

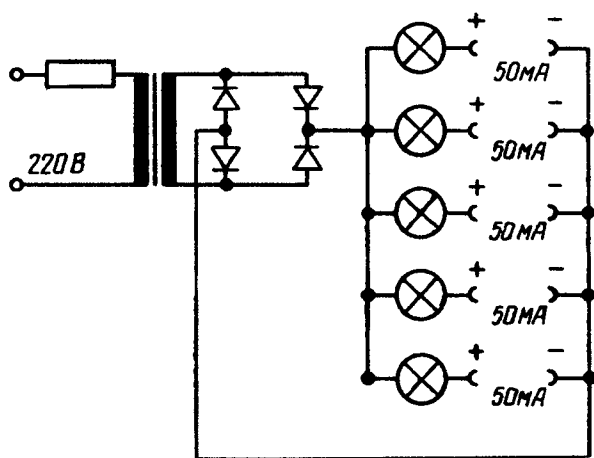


Рис. 243. Схема зарядного устройства (к рис. 242)

торых рассчитан на зарядный ток 50 мА. Все эти выходы могут быть использованы не только по отдельности, но и одновременно.

Схема этого же зарядного устройства показана на рис. 243. Напряжение 25—30 В при максимальном токе 300 мА, снимаемое со вторичной обмотки сетевого трансформатора, подается на выпрямитель. К выпрямителю параллельно подключены 5 балластных резисторов, в данном случае коммутаторные лампы 50 мА/24 В, которые, загораясь, сигнализируют о том, что через соответствующий выход течет ток заряда.

Кроме тока 50 мА с помощью шунтирующего переключателя (рис. 244) могут быть получены зарядные токи 100, 150, 200 и 250 мА. Таким образом, прибор позволяет заряжать практически любые обычно используемые в моделизме аккумуляторы. Его

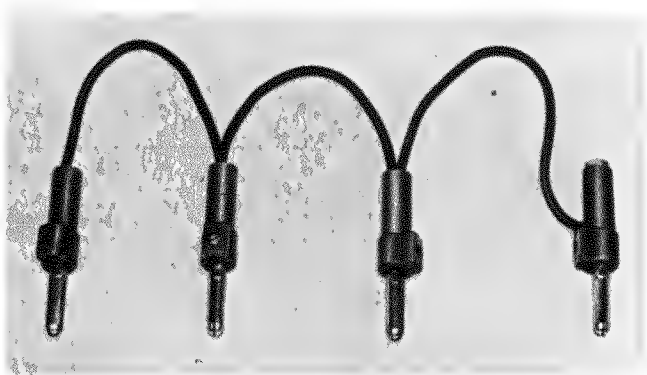


Рис. 244. Шунтирующий переключатель

возможности можно еще более расширить, если установить трансформатор с рассчитанной на более высокие токи вторичной обмоткой и предусмотреть дополнительные выходы. Перед первым включением самодельное зарядное устройство необходимо показать специалисту.

Для заряда аккумуляторы подключают к зарядному устройству через кабель со штекерами. При этом особое внимание необходимо обращать на полярность включения. Обычно плюсовые клеммы на аккумуляторах и зарядных приборах обозначают красным цветом, минусовые — синим или черным. Поэтому следует выбрать провода зарядного кабеля соответствующих цветов.

При заряде необходимо контролировать зарядное напряжение, чтобы исключить возможность выхода аккумулятора из строя.

Таблица со значениями времени заряда не дается, так как время зависит не только от тока заряда и номинальной емкости, но и от емкости, которой обладает в данный момент аккумулятор. В качестве критерия полного заряда достаточно использовать напряжение в конце разряда.

Аккумуляторы со спеченными пластинами можно заряжать также и ускоренным способом. Как было уже сказано, эти аккумуляторы предварительно необходимо разрядить до напряжения 1,1 В на один аккумулятор при токе разряда 0,1 К₅ или 0,74 В при токе разряда 5—10 К₅. Для этого лучше всего вынуть батарею из модели и разрядить ее через автомобильную лампу 12 В/45 Вт. Напряжение в конце разряда фиксируется с помощью универсального электроизмерительного прибора. Заряд аккумулятора можно пачать после его охлаждения.

Ускоренный заряд производят при токе 2 К₅. Батарею из семи аккумуляторов можно заряжать от автомобильного аккумулятора напряжением 12 В. При большем числе аккумуляторов батарею необходимо разделить на несколько меньших батарей. Для подключения к автомобильному аккумулятору используют специальный кабель (рис. 245), провода в котором имеют соответствующие сопротивления и играют роль балластных резисторов. Однако такой кабель предназначен для заряда лишь определенных батарей (по числу аккумуляторов, емкости), поэтому для ускоренного заряда различных батарей необходимы различные кабели.

В специальном зарядном устройстве, предназначенном для ускоренного заряда (рис. 246 и 247), предусмотрены регулируемый балластный резистор, амперметр и реле времени. Он позволяет заряжать от автомобильного аккумулятора с напряжением 12 В батареи, состоящие из четырех — семи аккумуляторов и имеющие емкость от 0,5 до 1,5 А·ч. Зарядный ток и время заряда можно точно установить в зависимости от емкости аккумуляторов. Как и в случае использования кабеля для ускоренного заряда, ток заряда здесь рассчитывается на время, равное 30 мин, и составляет 2 К₅. При емкости аккумуляторов 1,0 А·ч ток ра-



Рис. 245. Кабель для ускоренного заряда

вен 2,0 А, при емкости 1,2 А·ч — 2,4 А, при емкости 1,8 А·ч — 3,6 А. Для некоторых аккумуляторов допустимо и более короткое время заряда. При этом для заряда в течение 20 мин зарядный ток составляет 3 К_з, а при 15-минутном заряде — 4 К_з. В прибор встроены также постоянный балластный резистор 1,5 Ом и потенциометр для разряда аккумулятора. Напряжение в конце разряда контролируется с помощью внешнего прибора.



Рис. 246. Быстрозарядное устройство *Auto 12 Universal*

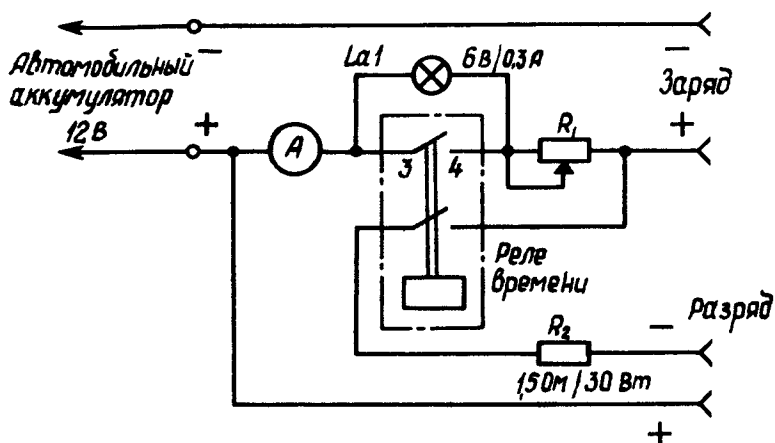


Рис. 247. Схема быстрозарядного устройства *Auto 12 Universal*

Выше уже было сказано, что ускоренный заряд позволяет зарядить аккумулятор лишь до 80 %-ной емкости. Для заряда остальных 20 % зарядный ток должен составлять от 0,1 до 0,2 K_5 . В быстрозарядном устройстве *Auto 12 Universal* это обеспечивается с помощью включения лампы накаливания. По истечении заданного времени ускоренного заряда реле размыкает контакты прямой цепи заряда и ток начинает течь через эту лампу. За счет сопротивления лампы ток падает, и батарея может заряжаться в течение нескольких часов без опасности повреждения. Такой простой прибор можно сделать и самостоятельно, встроив в него вольтметр.

Поскольку устройство не оснащено никакими элементами регулирования тока или напряжения, заряд, чтобы сохранить его напряжение постоянным, следует производить при выключенном двигателе автомобиля.

Оба описанных зарядных устройства имеют падающие характеристики, т. е. при возрастании заряда аккумуляторов зарядный ток падает. Поэтому время заряда следует несколько удлинить по сравнению с рассчитанным значением.

Все измерения напряжения на отдельных аккумуляторах или батарее необходимо производить при определенных условиях. Так, при измерении напряжения в конце заряда зарядный ток должен составлять 0,1 $K_{20/5}$, при таком же токе измеряют напряжение в конце разряда, а если разряд проводится большим током, то напряжение измеряют при 10 K_5 .

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Предварительные замечания	5
Глава 2. Приводы для моделей автомобилей	12
2.1. Модели колесных транспортных средств	14
2.2. Модели гусеничных машин	38
2.3. Модели плавающих машин	40
Глава 3. Приводы для моделей кораблей и судов	41
3.1. Водонизмещающие модели	48
3.2. Глиссирующие модели	70
3.3. Модели на подводных крыльях	92
Глава 4. Приводы для летающих моделей	102
4.1. Модели планеров	103
4.2. Модели самолетов	116
Глава 5. Винты	124
5.1. Гребные винты	127
5.2. Воздушные винты	140
Глава 6. Средства передачи усилий	146
6.1. Валы	146
6.2. Муфты	149
6.3. Редукторы	152
Глава 7. Электродвигатели	155
7.1. Конструкция и назначение	155
7.2. Рабочие характеристики	160
7.3. Снятие рабочих характеристик	169

7.4. Подавление помех, излучаемых двигателем, и его защита	178
7.5. Правила обращения с электродвигателями	180
Глава 8. Регулирование частоты вращения электродвигателя	182
8.1. Выключатель	182
8.2. Переключатель полярности	185
8.3. Ступенчатый регулятор хода	187
8.4. Регулятор хода	192
Глава 9. Источники электропитания	198
9.1 Первичные источники электропитания	203
9.2 Свинцовые аккумуляторы.	205
9.3. Никелево-кадмиевые аккумуляторы	211
9.4. Серебряно-цинковые аккумуляторы	215
9.5. Зарядные устройства	216

Гюнтер Миль

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ

Перевод с немецкого В. Н. Пальянова

Заведующий редакцией **А. П. Долгушин**

Редактор **В. Н. Ионов**

Художественный редактор **Т. А. Хитрова**

Технический редактор **Е. В. Дмитриева**

Корректор **Е. А. Платонова**

ИБ № 1793

Сдано в набор 18.01.85. Подписано в печать 20.08.85. Г-84275. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага глубокой печати. Гарнитура литературная. Печать глубокая. Усл. п. л. 14,0. Усл. кр.-отт. 14,375. Уч.-изд. л. 13,14. Тираж 50 000 экз. Заказ 67. Изд. № 3/д-542. Цена 70 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство ДОСААФ СССР, 129110, Москва, Олимпийский просп., 22.

Ордена Трудового Красного Знамени типография издательства ЦК КП Белоруссии, 220041, Минск, Ленинский проспект, 79.

Электрические приводы для моделей

70 к.
